



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Entwicklung eines Routenplanungstools für die europäischen Wasserstraßen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

Dipl.-Ing. Heimo Pascher

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,
Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Jonas Auberger

1229753 (066.482)

Wien, im Februar 2016

Jonas Auberger



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Februar 2016

Jonas Auberger

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Diplomarbeit und während meines Studiums unterstützt und begleitet haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Professor Sihm für die Betreuung und Begutachtung meiner Abschlussarbeit.

Für die hilfreichen Gespräche über das Fachgebiet, die konstruktive Kritik und die angenehme Zusammenarbeit möchte ich mich herzlich bei Herr Dipl.-Ing. Pascher bedanken.

Ein besonderer Dank gilt auch meiner Lebenspartnerin Monika, die mich emotional immer wieder motiviert und mich in allen Bereichen sehr unterstützt hat.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern Elisabeth und Robert bedanken, die mir dieses Studium ermöglicht und mich überall wo es möglich war unterstützt haben.

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll ein Routenplanungstool für die europäische Binnenschifffahrt mit Hilfe von Microsoft Excel erstellt werden. Das Tool soll es ermöglichen, nach Auswahl eines Start- und Zielhafens bestimmte routenbezogene Informationen auszugeben. Hierbei sollen mindestens die Strecke und die erwartete Fahrzeit zwischen Start und Ziel ermittelt werden. Weiteres sind Informationen wie die Anzahl der Schleusen, die zu befahrenen Flüsse und die geringste Wasserstraßenklasse auf der jeweiligen Route gefragt. Neben diesen Mindestanforderungen an das Tool können noch weitere geeignete Funktionen implementiert werden.

Um einen besseren Einblick in die Binnenschifffahrt zu bekommen, wird im ersten Teil der Diplomarbeit auf die Bestandteile der Binnenschifffahrt und der Routenplanung eingegangen. Hierbei werden Informationen über die Wasserstraßen, deren Elemente und die unterschiedlichen Schiffstypen bzw. Wasserstraßenklassen gegeben. Im Anschluss wird der Aufbau und die Funktionsweise eines Routenplanungstools allgemein erläutert und bereits bestehende Tools im Bereich der Binnenschifffahrt miteinander verglichen um hieraus weitere Funktionen für ein neues Tool abzuleiten. Im zweiten Teil der Arbeit wird die Funktionsweise und der Aufbau des Tools anhand einer Beispielberechnung Schritt für Schritt erläutert. Hierbei wird zum einen auf das Makro, welches mit Hilfe von Microsoft Excel und VBA programmiert wird, und zum anderen auf die Datenbank, auf welche das Makro zugreifen kann und in welcher die gesamten benötigten Informationen hinterlegt sind, eingegangen. Im Schlussteil wird das neue Routenplanungstool mit den bereits bestehenden verglichen und die Vorteile gegenüber diesen aufgezeigt.

Als Ergebnis der Diplomarbeit ist ein Routenplanungstool in Microsoft Excel zu sehen, mit dessen Hilfe neben den geforderten noch einige mehr Informationen berechnet werden können. Das Tool kann je nach Bedarf um weitere Funktionen flexible erweitert werden. Im Anhang ist der VBA-Code des Makros beigefügt.

Abstract

The subject of this master thesis is the development of a route planning tool for the european inland waterways. After selecting a start port and a port of final destination, the tool should calculate some route-related information. The minimum requirements for the result are the distance and the expected travel time between start and final destination. Further information of the tool are the number of locks, the travelled rivers and the waterway classes. In addition to the minimum requirements, more useful functions can be implemented.

In the first part of the thesis some basic information about the european inland navigation and the route planning are listed, in order to gain a better understanding. Moreover, some facts about the waterways, related elements and different ship types are explained. Subsequently, the structure and the function of the route planning tool is explained generally and already existing tools are compared. The comparison makes it possible to derive more functions for the new tool. The second part deals with the function and the structure of the newly developed tool based on an example. The vba macro and the database that contains all information for calculating the routes are explained. In the end the newly developed tool is compared with already existing ones.

The result of the master thesis is a route planning tool based on Microsoft Excel. This tool meets the predetermined requirements and additionally some more information can be displayed. With some knowledge about the programming language vba, the tool can be easily extended with more functions. The vba-code is attached in the annex.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Ausgangssituation	3
1.2	Zielsetzung	5
1.2.1	Ziele und Ergebnisse	5
1.2.2	Forschungsfragen	5
1.3	Aufbau der Arbeit	6
1.4	Begriffserklärung	7
2	Grundlagen der Binnenschifffahrt	8
2.1	Geschichtlicher Überblick	8
2.2	Binnenschifffahrt im Vergleich	10
2.2.1	Anteil am Gesamtgüteraufkommen und Entwicklung	10
2.2.2	Vorteile der Binnenschifffahrt	12
2.2.3	Kombinierter Verkehr	13
2.2.4	Prognose und Entwicklung der Binnenschifffahrt	14
2.3	Wasserstraßennetz	16
2.3.1	Wasserstraßenklassen	16
2.3.2	Schiffe	20
2.3.3	Arten von Wasserstraßen	22
2.3.4	Wichtige Kanäle und Flüsse	25
2.3.5	Schleusen und Hebewerke	27
2.3.6	Häfen	30
2.3.7	Sonstige Wartezeiten auf den Wasserstraßen	34
3	Routenplanung und bestehende Tools	36
3.1	Bedeutung der Routenplanung	36
3.2	Grundsätzlicher Aufbau und Datenbasis eines Tools	37
3.2.1	Benutzerschnittstelle	38
3.2.2	Datenbasis	39
3.2.3	Routenberechnung	40
3.3	Bestehende Routenplanungstools	41
3.3.1	Vorstellung von vier Planungstools	41

3.3.2	Vergleich der Routenplanungstools.....	43
3.3.3	Ableitung weiterer Anforderungen	45
4	Routenplanungstool für Binnenschifffahrt.....	46
4.1	Anforderungen an das Routenplanungstool.....	46
4.2	Programmiersprache.....	47
4.3	Problemlösung	49
4.3.1	Kürzester-Pfad-Problem	50
4.3.2	Dijkstra's Algorithmus	51
4.3.3	Distanzmatrix.....	57
4.4	Aufbau und Funktion des Routenplanungstools	58
4.4.1	Excel-Sheet Ebene	58
4.4.2	Makro Ebene	65
4.4.3	Ausgabe in Tabellenform.....	74
4.5	Vorteile im Vergleich zu anderen Tools	78
4.6	Entwicklungsmöglichkeiten	79
5	Schlussfolgerung und Zusammenfassung.....	80
6	Anhang	81
6.1	Übersichtskarte Wasserstraßennetz Europa	81
6.2	VBA-Code des Routenplanungstools.....	82
6.2.1	Modul: Makrosteuerung	82
6.2.2	Modul: Dijkstra's Algorithmus	84
6.2.3	Modul: Sheetmanager	86
6.2.4	Modul: Funktionen	96
7	Literaturverzeichnis.....	100
8	Abbildungsverzeichnis	102
9	Tabellenverzeichnis	104

1 Einleitung

Im ersten Kapitel wird die Ausgangssituation und die Problemstellung genauer beschrieben. Darüber hinaus werden Forschungsfragen, welche durch die Arbeit beantwortet werden, und Begriffsdefinitionen abgeleitet. Um einen Überblick über die Arbeit zu schaffen wird der Aufbau kurz erläutert.

1.1 Ausgangssituation

Die Binnenschifffahrt hat im Vergleich zum Straßen- bzw. Schienenverkehr einen geringen Anteil am gesamten Gütertransportaufkommen in Europa. In Abbildung 1 ist eine prozentuale Verteilung der einzelnen Verkehrsträger in einem Diagramm zu erkennen. Demnach werden 75 % des gesamten Gütertransportes auf der Straße mit LKWs durchgeführt. Immerhin 18 % werden auf der Schiene bewegt und ein vergleichsmäßig kleiner Anteil von 7 % fällt auf die Binnenschifffahrt ab, obwohl diese im Vergleich zu den übrigen Verkehrsträgern am wirtschaftlichsten und umweltfreundlichsten ist. So ist der Transport eines Containers mit einem voll ausgelasteten Binnenschiff deutlich günstiger als mit einem Zug oder LKW, benötigt aber im Gegenzug auch mehr Zeit. Dies hat aber auch einen größeren und weitreichenderen Planungsbedarf zur Folge.^{1, 2}

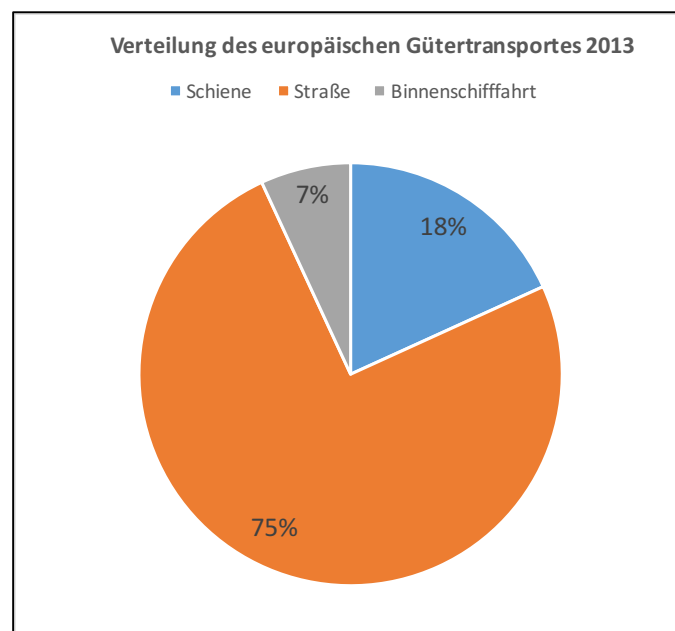


Abbildung 1: Verteilung europäischer Gütertransport³

¹ vgl. www.logistikbranche.net/verkehrstraeger/binnenschifffahrt.html (gelesen am: 27.10.2015)

² vgl. www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/VerkehrstraegerHauptverkehrsRelationB.html (gelesen am: 27.10.2015)

³ vgl. ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Figure_1_Freight_transport_in_the_EU-28_modal_split_of_inland_transport_modes.png#file (gelesen am: 27.10.2015)

Der geringe Anteil der Binnenschifffahrt hat mehrere Gründe. Zum einen müssen auf einem Binnenschiff deutlich größere Mengen auf einmal transportiert werden um die maximale Wirtschaftlichkeit zu erreichen, zum anderen besitzen die wenigsten Fabriken und produzierenden Unternehmen einen eigenen Hafen oder Güterbahnhof. Dies bedeutet, dass der Einsatz der Binnenschifffahrt in den meisten Fällen nur in Verbindung mit LKW-Einsatz möglich ist. Da der Transport mit einem Binnenschiff länger dauert, werden insbesondere bei Zulieferteilen bzw. Termintransporten längere Planungszeiträume der beteiligten Firmen benötigt. Auch ist eine Anlieferung im Just-in-Time Prinzip mit deutlich größerem Planungsaufwand verbunden, es werden Zwischenlager benötigt und die Flexibilität bezüglich Transportänderungen ist sehr gering bzw. nahezu unmöglich.

Durch den Einsatz von mindestens zwei verschiedenen Verkehrsmitteln, Binnenschiff kombiniert mit LKW oder Zug, wird ein Transport komplexer als bei einem Einsatz von lediglich einem Transportmittel. Des Weiteren wird eine dem entsprechende Infrastruktur benötigt, um die Transporteinheiten von einem LKW auf ein Binnenschiff und am Zielort wieder auf einen LKW umzuschlagen. Neben dem wirtschaftlichen Faktor ist auch die Dauer eines Transportes von großer Bedeutung. Die gesamte Transportzeit von Versender zu Empfänger mit einem LKW nimmt deutlich weniger Zeit in Anspruch als das Einbinden eines Binnenschiffes in die Transportkette. Außerdem kann mit einem LKW sehr kurzfristig ein Transport geplant und durchgeführt werden.

Damit die Binnenschifffahrt besser und leichter in den Gütertransport bzw. in den kombinierten Verkehr eingebunden werden kann, wird eine höhere Transparenz bei der Routenplanung und eine einfachere, weitreichende Planung benötigt. Hierbei sind die Faktoren Transportzeit und Transportstrecke für eine wirtschaftliche Planung essentiell. Im Bereich des Gütertransportes mit LKW gibt es eine breite Palette an Routenplanungstools, welche im Bereich der Binnenschifffahrt gar nicht bis kaum vorhanden sind. Um die Transparenz bei einem Transport mit Binnenschiffen zu erhöhen und die Komplexität im Bereich des kombinierten Verkehrs zu reduzieren kann ein Routenplanungstool, welches Strecken, Zeiten und weitere Informationen ausgibt, hilfreich sein. Ein solches Tool kann die Planung im Bereich der Binnenschifffahrt in Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Transportzeit erhöhen.

Auch wenn die Binnenschifffahrt zukünftig keinen deutlich größeren Anteil am Gütertransport ausmachen wird, kann der Prozentsatz dennoch leicht erhöht werden. Dadurch können Straßen und damit der Verkehr deutlich entlastet werden, die Lärmbelastung durch den Gütertransport kann vermindert werden und beim Einsatz eines modernen Binnenschiffes kann auch die Umweltbelastung reduziert werden.

1.2 Zielsetzung

1.2.1 Ziele und Ergebnisse

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die Erstellung eines Routenplanungstools in Microsoft Excel für die europäische Binnenschifffahrt. Dieses soll nach Auswahl eines Start- und eines Zielhafens die Distanz zwischen den beiden Punkten ausgeben. Außerdem soll das Tool die befahrenen Flüsse und die jeweiligen Wasserstraßenklassen entlang der berechneten Route zwischen Start- und Zielhafen ermitteln. Neben der Transportzeit, für welche eine Durchschnittsgeschwindigkeit abgefragt wird, soll auch noch die Anzahl der Schleusen auf der Strecke berechnet und ausgegeben werden. Des Weiteren können noch zusätzliche sinnvoll und nützlich erscheinende Funktionen implementiert werden.

Neben der Entwicklung eines Routenplanungstools sollen auch Grundlagen der Binnenschifffahrt und des europäischen Wasserstraßennetzes erarbeitet werden. Als Grundlage für das Tool sollen grundlegende Informationen über die Routenplanung und bestehende Tools recherchiert werden. Aus einem Vergleich bestehender Tools für die Binnenschifffahrt können weitere Funktionen für ein neues Routenplanungstool abgeleitet werden. Der Aufbau und die Funktionsweise des entwickelten Routenplanungstools sollen ausführlich und verständlich beschrieben werden. Schlussendlich sollen noch Aussichten und weitere Entwicklungsmöglichkeiten für ein Routenplanungstool in der Binnenschifffahrt aufgelistet werden.

1.2.2 Forschungsfragen

Folgende Forschungsfragen werden in dieser wissenschaftlichen Arbeit behandelt und beantwortet:

- Aus welchen Elementen besteht das europäische Wasserstraßennetz?
- Welchen Stellenwert hat die Binnenschifffahrt innerhalb der Transportlogistik?
- Welche Bedeutung hat eine optimale Routenplanung?
- Wie ist ein Routenplanungstool aufgebaut und auf welche Datenbasis greift es zurück?
- Welche Eigenschaften soll ein ideales Routenplanungstool für die Binnenschifffahrt aufweisen?

1.3 Aufbau der Arbeit

Um Grundlagen für die Binnenschifffahrt und die Routenplanung zu schaffen, werden im zweiten Kapitel dieser Arbeit die Elemente der Binnenschifffahrt, wie Häfen, Schiffe, Wasserstraßenklassen und Schleusen, genauer betrachtet. Hierbei wird auf den Zusammenhang zwischen den Wasserstraßenklassen und den unterschiedlichen Schiffstypen eingegangen und die Funktionsweise von Schleusen bzw. Hebewerken erläutert. Im dritten Kapitel wird allgemein der Aufbau und die Funktionsweise eines Routenplanungs- bzw. Navigationstools genauer betrachtet. Darüber hinaus werden bereits verfügbare Routenplanungstools miteinander verglichen und weitere geeignete Funktionen abgeleitet. Diese Grundlagen sind für die spätere Entwicklung des Tools essentiell.

Im zweiten Teil der Arbeit wird auf die Lösungsfindung und das entwickelte Routenplanungstool detaillierter eingegangen. Im ersten Teil des vierten Kapitels wird der verwendete Algorithmus und der Aufbau der Datenbasis beschrieben, wohingegen im zweiten Teil der Aufbau und die Funktionsweise des Tools näher betrachtet werden. Hierbei werden die einzelnen Ebenen und Elemente des Tools aufgelistet und anhand einer Beispielberechnung die Funktionsweise Schritt für Schritt erklärt. Für ein besseres Verständnis werden Abbildungen aus dem entwickelten Tool zur Erklärung verwendet.

Im letzten Teil der Arbeit wird das entwickelte Tool mit den bereits in Kapitel drei analysierten Tools verglichen und die Vorteile aufgedeckt. Neben den Vorteilen werden noch weitere potentielle Funktionen für das Tool aufgelistet, welche in einem weiteren Update implementiert werden können. Den Abschluss bildet eine kurze Zusammenfassung über die Thematik und die Aufgabenstellung.

1.4 Begriffserklärung

Nachfolgend werden einige Begriffe, welche im Zusammenhang mit der Routenplanung in der Binnenschifffahrt eine tragende Rolle spielen und sehr häufig in dieser Arbeit verwendet werden, erklärt:

- Routenplanung: Die Routenplanung dient der Ermittlung einer optimalen Strecke zwischen einem Start- und einem Zielort. Neben der Distanz und der Route können auch noch streckenbezogene Informationen ausgegeben werden.⁴
- Tool: Ein Tool ist ein Software Programm, welches bestimmte Aufgaben erfüllt. Ein Routenplanungstool übernimmt demnach die Planung einer Transport- bzw. Verkehrsrouten.⁵
- Binnenschifffahrt: Die Binnenschifffahrt dient zur Beförderung von Personen und Gütern auf Binnengewässern. Diese sind Flüsse, Kanäle und Seen. Die Schifffahrt nutzt dabei so genannte Wasserstraßen.⁶
- Wasserstraße: Eine Wasserstraße ist ein Teil auf dem Binnengewässer, welcher für die Schifffahrt vorgesehen und dementsprechend mit Fahrwassertonnen, Licht- oder Schallsignalen gesichert und markiert ist. Zusätzlich werden Wasserstraßen durch Ausbaggerungen oder anderen Bauwerken schiffbar gemacht und gehalten. Die Bauwerke wie Kanäle, Häfen oder Schleusen bzw. Hebewerke stehen jedem Verkehrsteilnehmer meist kostenpflichtig zur Nutzung zur Verfügung.⁷

⁴ vgl. www.duden.de/rechtschreibung/Routenplaner (gelesen am: 16.11.2015)

⁵ vgl. www.duden.de/rechtschreibung/Tool (gelesen am: 16.11.2015)

⁶ vgl. www.wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/binnenschifffahrt.html (gelesen am: 16.11.2015)

⁷ vgl. www.wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/wasserstrasse.html (gelesen am: 16.11.2015)

2 Grundlagen der Binnenschifffahrt

Im Abschnitt „Grundlagen der Binnenschifffahrt“ wird zum einen ein kurzer geschichtlicher Überblick über die Entwicklung der Binnenschifffahrt in Europa gegebene und zum anderen werden die Komponenten der Binnenschifffahrt wie Wasserstraßen, Häfen, Schleusen und Schiffe erläutert. Anschließend wird auf die Routenplanung genauer eingegangen. Hierbei werden bestehende Routenplanungstools der Binnenschifffahrt untersucht und hiervon weitere Anforderungen an ein neues Routenplanungstool abgeleitet.

2.1 Geschichtlicher Überblick

Bereits vor etwa 12.000 Jahren, am Ende der letzten Eiszeit, wurden Binnengewässer wie Flüsse, Bäche und Seen für den Transport von Gütern, Personen und für den Fischfang genutzt. Je nach kulturellem Hintergrund bestanden die Transportmittel beispielsweise bei den Rentierjägern aus einem Holzgerüst, welches mit Fellen bespannt wurde oder bei den Kelten aus Einbäumen. Durch die Römer entstand eine erste größere Binnenschifffahrt auf dem Rhein, der als Grenzfluss zu Germanien diente. Hierbei wurde die Binnenschifffahrt zum einen für den Truppentransport und zum anderen für Rohstoff- und Handelswaretransport genutzt. Als Schiffe wurden „überdimensionierte“ Ruderboote verwendet, welche mit Muskelkraft und auch teilweise mit Hilfe von Segeln angetrieben wurden. In Abbildung 2 ist ein Nachbau eines solchen Schiffstyp der römischen Flussflotte, die so genannte „Navis Lusoria“, abgebildet. Durch die Errichtung von Werften für den Bau von Kriegsschiffen entlang des Rheines durch die Römer erlebte das Rheintal einen wirtschaftlichen Aufschwung und der Rhein und damit Verbunden die Handelsschifffahrt bekamen immer mehr Bedeutung. ^{8, 9, 10}



Abbildung 2: Nachbau der Schiffsgattung "Navis Lusoria" ¹⁰

⁸ vgl. www.wsv.de/wasserstrassen/historisches/binnenschifffahrt/index.html (gelesen am: 27.05.2015)

⁹ vgl. www.portofbasel.ch/de/news-wissenswertes/geschichte-der-schifffahrt.php (gelesen am 27.05.2015)

¹⁰ vgl. www.ur.de/philosophie-kunst-geschichte-gesellschaft/alte-geschichte/navis-lusoria/index.html (gelesen am: 16.11.2015)

Nach dem Zerfall des römischen Reiches verlor die Schifffahrt auf dem Rhein immer mehr an Bedeutung. Zur ersten Jahrtausendwende erlebte sie wieder einen Aufschwung durch die friesischen Händler. Im 14. Jahrhundert entstanden dann zum Schutz gegen Kaperungen der Handelsschiffe durch Piraten Zünfte der Rheinschiffer und durch regelmäßige und planmäßige Fahrten entwickelte sich die Schifffahrt zu einem Linienbetrieb. Je nach Bauart und Einsatz wurden die Schiffe bis Anfang des 19. Jahrhunderts mit verschiedenen Antriebsmethoden wie Muskelkraft, mit Hilfe der Strömung und des Windes oder mit Hilfe von Tieren angetrieben. Am weitest verbreiteten war damals die Treidelschifffahrt, welche in Abbildung 3 schemenhaft abgebildet ist. Dabei wurden die Lastkähne vom Ufer aus von Menschen oder Pferden gezogen bzw. mit der Strömung flussabwärts getrieben. Eine andere verbreitete Schiffsart war die so genannte „Lauertanne“. Diese Schiffe waren nur für die Talfahrt bestimmt und wurden am Zielort zerlegt und als Nutzholz verkauft. ^{8,9}



Abbildung 3: Treidelschifffahrt ¹¹

Robert Fulton schaffte es als erster, die Dampfmaschine als Antrieb für ein Wasserfahrzeug zu verwenden und fuhr mit seinem mit Dampf betriebenen Schiff „Clermont“ auf dem Hudson-River. 1816 fuhr dann das erste Dampfschiff, „The Defiance“, auf dem Rhein Richtung Köln. Von da an gewann die Dampfschifffahrt immer mehr an Bedeutung und war bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs die dominierende Antriebstechnik. Da in dieser Zeit die Flüsse noch nicht ausgebaut oder kanalisiert waren, gab es viele Engstellen und starke Strömungen. Auf manchen Flüssen in Europa wurde deswegen ab 1850 die so genannte Kettenschleppschifffahrt eingeführt. Hierbei wurde eine lange, schwere Kette auf dem Grund des Flusses versenkt. Ein Dampfschleppschiff nahm die Kette am Bug auf, ließ sie über eine Antriebswinde über das Deck und am Heck wieder in den Fluss laufen. Dadurch konnte sich das Schleppschiff entlang der Kette flussaufwärts ziehen. Dabei zog es bis zu 12 antriebslose Lastkähne und eine Last von 3.000 t hinter sich her. Durch die schwere Kette war die Fahrtrichtung der Schleppschiffe vorgegeben. Die Dampfschleppschifffahrt wurde Anfang des 20. Jahrhunderts von autonomen Schleppern abgelöst. Diese wurden Anfangs mit Seiten-, Heck- oder Schraubenpropellerantrieb betrieben. ¹²

¹¹ vgl. www.bad-salzig-am-rhein.de/schifffahrt/treidel.html (gelesen am 11.09.2015)

¹² vgl. www.kettendampfer-magdeburg.de/binnenschifffahrt/ (gelesen am: 16.11.2015)

Nach dem zweiten Weltkrieg löste der Dieselmotor die Dampfmaschine in der Schifffahrt ab und die Schleppschifffahrt wurde durch den Schiffstyp Schubverband ersetzt. Dabei sind Dieselmotoren deutlich leichter und benötigen weniger Platz als die großen, schweren Dampfmaschinen, welche große Kohlevorräte benötigen. Schubverbände haben im Vergleich zu den starren Schiffstypen einen großen wirtschaftlichen Vorteil, da hierfür weniger Personal notwendig ist und die Leichter, die Transporteinheiten, schnell ausgewechselt werden können. Die Industrialisierung ab Mitte des 19. Jahrhunderts hat auch höhere Transportmengen auf den Binnenschifffahrtsstraßen zur Folge. Aus diesem Grund wurden insbesondere um die Jahrhundertwende vom 19. zum 20. Jahrhundert sehr viele neue Kanäle und Wasserstraßen in Europa errichtet.⁸

Im 21. Jahrhundert besteht das europäische Binnenschifffahrtsnetz aus Kanälen, kanalisierten Flüssen und einem kleinen Anteil von frei fließenden Flussabschnitten, welche mit Hilfe von Schleusen und Hebewerken miteinander verbunden sind. Das für den Gütertransport wichtige europäische Wasserstraßennetz hat eine Länge von über 30.000 km. Im Anhang 6.1 ist eine Übersichtskarte von Europa mit den wichtigsten Binnenschifffahrtsstraßen beigefügt. Im Bereich des Gütertransportes nehmen die Schleppverbände, mit wechselbaren Leichtern, und Motorschiffe den größten Anteil der Frachtschiffe ein. Neben dem Gütertransport werden die Wasserstraßen aber auch noch für den Flusstourismus, welcher in den letzten Jahren sehr stark gewachsen ist, und zu Freizeit Zwecken genutzt.¹³

2.2 Binnenschifffahrt im Vergleich

2.2.1 Anteil am Gesamtgüteraufkommen und Entwicklung

Wie bereits im Kapitel 1.1 erwähnt, hat die Binnenschifffahrt im Vergleich zum Straßen- bzw. Schienenverkehr einen geringen Anteil am gesamten Transportaufkommen innerhalb Europas. In Abbildung 1 in Kapitel 1.1 ist dies in einem Diagramm zu erkennen. So werden ca. 75 % des Transportaufkommens auf der Straße mit LKWs transportiert. Immerhin 18 % werden auf der Schiene bewegt und lediglich 7 % fallen auf die Binnenschifffahrt ab. Diese Werte beziehen sich auf das Jahr 2013 und können je nach Land auch deutlich abweichen. So liegt beispielsweise der Anteil der Binnenschifffahrt in Deutschland mit mehr als 12 % und in den Niederlanden mit ca. 44 % deutlich höher als im europaweiten Durchschnitt. Dieser Länderunterschied liegt in erster Linie an dem Vorhandensein von mehr oder weniger Flusskilometern und dem Ausbau zu schiffbaren Wasserstraßen durch Kanäle und der nötigen Infrastruktur. Neben der Länge des Wasserstraßennetzes in einem Land spielt auch jeweils die flächenmäßige Ausdehnung bei dem

¹³ vgl. UNECE, 2011, S. 11

prozentualen Anteil der Binnenschifffahrt eine tragende Rolle. Des Weiteren können die Ursachen für eine stärkere bzw. schwächere Nutzung der Binnenschifffahrt an der Politik und Förderung des jeweiligen Landes liegen. Hierbei hat beispielsweise die Dichte an öffentlichen Häfen und ein kostengünstiges Umschlagen vor Ort eine erhebliche Auswirkung auf die Nutzung der Binnenschifffahrt.^{14, 15}

Die prozentuale Verteilung des Güterverkehrs auf die drei großen Verkehrsträger ist in den letzten 15 Jahre nahezu unverändert geblieben, wie aus Abbildung 4 hervorgeht. Lediglich ab dem Jahr 2007 bis 2010 gab es eine leichte Umverteilung von Schiffs- und Zugverkehr auf LKW. Dieser Rückgang beruht auf der Wirtschaftskrise und der reduzierten Nachfrage nach Produkten und Rohstoffen. Da Güterschiffe große Mengen an Rohmaterialien transportieren ist hier ein Rückgang des Transportes und des prozentualen Anteils zu spüren. Dieser Trend änderte sich jedoch 2010 und der Anteil der Binnenschifffahrt nahm wieder zu. Dennoch ist ein Anteil von ca. 7 % am gesamten Transportaufkommen verhältnismäßig gering.¹⁶

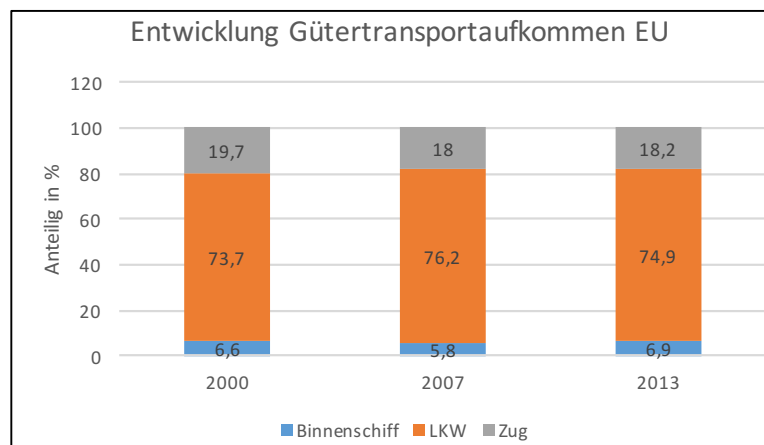


Abbildung 4: Entwicklung Gütertransportaufkommen¹⁷

Die Güter, welche auf den europäischen Wasserstraßen transportiert werden, können in drei große Gruppen eingeteilt werden: trockene Massengüter, flüssige Massengüter und Container. Mit 67 % aller transportierten Mengen sind die trockenen Massengüter am stärksten vertreten, gefolgt von den flüssigen Massengütern mit 25 %. Der Containertransport macht lediglich 8 % aus. (Daten aus dem Jahr 2013 für die Beförderungsmengen auf dem Rhein). Der Anteil der Container auf dem Rhein und den europäischen Wasserstraßen ist verhältnismäßig gering. In dem Kanalgebiet (Mittellandkanal, Dortmund-Ems-Kanal, Main-Donau-Kanal) fällt dieser Anteil noch deutlich geringer aus. Dies liegt insbesondere an den

¹⁴ vgl. www.logistikbranche.net/verkehrstraeger/binnenschifffahrt.html (gelesen am: 27.10.2015)

¹⁵ vgl. www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/VerkehrstraegerHauptverkehrsRelationB.html (gelesen am: 27.10.2015)

¹⁶ vgl. www.t-online.de/wirtschaft/unternehmen/id_41220238/wirtschaftskrise-trifft-binnenschifffahrt.html (gelesen am: 16.11.2015)

¹⁷ vgl. www.ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Figure_1_Freight_transport_in_the_EU-28_modal_split_of_inland_transport_modes.png (gelesen am: 16.11.2015)

niedrigen Brücken, weswegen die Container zu wenig hoch gestapelt werden können und dadurch ein wirtschaftlicher Transport nicht mehr möglich ist. Beispielsweise kann die Schiffsklasse „Europaschiff“ im Kanalgebiet bis zu 87 TEU transportieren. Im Vergleich besitzt die neuste Generation der Binnen-Containerschiffe auf dem Rhein eine Ladekapazität von bis zu 470 TEU. Dabei bedeutet die Einheit TEU „Twenty-foot Equivalent Unit“ und steht für einen 20-Fuß-ISO-Container. Der Schiffstransport ist in den meisten Fällen mit einem Umschlagen vor und nach dem eigentlichen Binnenschifftransport verbunden, wodurch der Containertransport mit Binnenschiffen auf dem Kanalgebiet noch uninteressanter wird. Um den Anteil der Binnenschifffahrt am gesamten Gütertransportaufkommen zu erhöhen ist es notwendig, den Containeranteil durch geeignete Schiffe oder einen Ausbau der Binnenstraße zu erhöhen. Des Weiteren muss die Transparenz und Komplexität der Planung und Durchführung in Bezug auf den kombinierten Verkehr erleichtert werden.^{18, 19}

Im Bereich des flüssigen und festen Massenguttransportes wie Kohle, Getreide, Gas oder Kraftstoffe ist die Binnenschifffahrt sehr geeignet, da hier mit einer einzigen Transporteinheit sehr große Mengen des Rohstoffes bzw. der Ware transportiert werden können. In den Häfen und Umschlagplätzen kann dann das Transportgut so lange zwischengelagert werden, bis es mit LKW oder Zügen weiter transportiert wird. Die Binnenschifffahrt ist demnach sehr nützlich, um große Mengen an Massengütern, welche an Seehäfen angeliefert werden, wirtschaftlich in das Landesinnere zu transportieren. Aus diesem Grund ist auch der Anteil an Massengütern in der Binnenschifffahrt vergleichsmäßig hoch.

2.2.2 Vorteile der Binnenschifffahrt

Die Binnenschifffahrt hat einige Vorteile im Vergleich zu LKW oder Zug. Da mit einer Transporteinheit deutlich mehr Güter transportiert werden können, sinken auch die Kosten und der Energieverbrauch deutlich. Um die Ladekapazität eines durchschnittlichen Güterschiffes mit einer Kapazität von 2.000 t durch andere Verkehrsträger zu ersetzen, benötigt es ca. 80 LKWs (jeweils 25 t Zuladung) oder 50 Güterwagons mit jeweils 40 t Zuladung. Bei voller Auslastung ist das Binnenschiff das wirtschaftlichste Transportmedium im Inlandsverkehr. In Abbildung 5 ist der spezifische Energieverbrauch pro 100 tkm in Bezug auf den Energieinhalt von Diesel bezogen. Hieraus wird ersichtlich, dass der Energiebedarf bei LKWs mit Abstand am höchsten ist. Das Transportmedium Schiene ist im Vergleich zur Straße deutlich sparsamer. Am geringsten ist der Energieverbrauch allerdings in der Binnenschifffahrt. Im direkten Zusammenhang zum Energieverbrauch stehen auch der Emissionsausstoß und ein Teil der anfallenden Kosten, welche bei voller

¹⁸ vgl. Marktbeobachtung Europäische Binnenschifffahrt, 2014, S. 18 f.

¹⁹ vgl. www.tis-gdv.de/tis/tagungen/workshop/cs/kohlmann/kohlmann.htm (gelesen am: 16.11.2015)

Auslastung des Transportmediums ebenfalls deutlich geringer sind, als bei den anderen beiden Transportalternativen.^{20, 21}

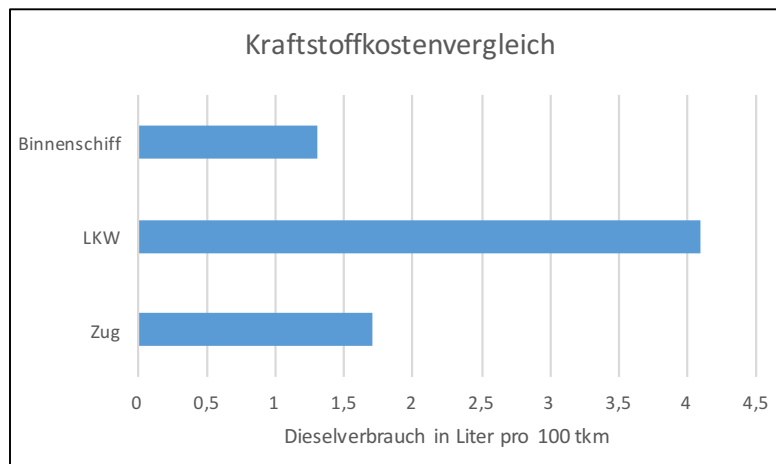


Abbildung 5: Kraftstoffkostenvergleich²²

Ein weiterer Vorteil ist die geringe Lärmbelastung durch die Binnenschifffahrt und es können große Mengen mit nur einer Transporteinheit transportiert werden. Insbesondere im Bereich des Schüttguttransportes und des Flüssigkeiten- oder Gastransportes zeigt das Binnenschiff seine Vorteile in Hinblick auf große Ladekapazitäten im Vergleich zu LKW oder Güterzug. Im Gegensatz zum Straßen- bzw. Schienenverkehr verfügt die Binnenschifffahrt noch über ausreichend freie Transportkapazitäten, welche genutzt werden können. So liegt die Transportnutzungsrate im Jahr 2013 bei 77 %, wohingegen vor allem der Verkehrsträger Straße an seine Grenzen stößt und Stau bzw. längere Transportzeiten berücksichtigt werden müssen.^{23, 24}

2.2.3 Kombiniertes Verkehr

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 erwähnt, ist für die Einbindung der Binnenschifffahrt im Bereich des Containertransports in den meisten Fällen ein kombinierter Verkehr notwendig, da Absender und Empfänger einer Lieferung selten einen direkten Wasserstraßenzugang besitzen. Beim kombinierten Verkehr liegt der Schwerpunkt auf der Schiene oder der Wasserstraße und der LKW dient lediglich dazu um die Ladeinheit von einem Umschlagplatz zum Empfänger bzw. vom Versender zum Umschlagplatz zu ermöglichen. Am wirtschaftlichsten und effizientesten ist der unbegleitete kombinierte Verkehr, bei dem die Ladeinheit wie z.B. Container, Wechselbrücken oder LKW-Auflieger auf Güterzüge bzw. Binnenschiffe verladen

²⁰ vgl. www.logistikbranche.net/dossier/vorteil-nachteil-binnenschiff.html (gelesen am: 27.10.2015)

²¹ vgl. www.wsa-rheine.wsv.de/schifffahrt/binnenschifffahrt/index.html (gelesen am: 16.11.2015)

²² vgl. www.logistikbranche.net/verkehrstraeger/binnenschifffahrt.html (gelesen am: 27.10.2015)

²³ vgl. www.gate4logistics.de/logistik-branche/gueterverkehr/binnenschifffahrt.html (gelesen am: 27.10.2015)

²⁴ vgl. Marktbeobachtung Europäische Binnenschifffahrt, 2014, S. 73

werden. Hierbei ist der Container als Ladeeinheit am besten geeignet, da dieser stapelbar ist und nach einer ISO-Norm eine einheitliche Größe hat. Eine weitere Möglichkeit ist der begleitete kombinierte Verkehr, bei welchem der komplette LKW samt Zugmaschine und Auflieger verladen wird. Dies ermöglicht ein schnelleres Be- und Entladen von Güterzügen und Binnenschiffen und es sind keine speziellen Umschlagplätze mit Kräne nötig, da der LKW direkt auf das Binnenschiff fahren kann. Ein kompletter LKW mit Auflieger benötigt aber deutlich mehr Platz und ist deswegen weniger wirtschaftlich, als ein reiner Containertransport. ²⁵

Damit der kombinierte Verkehr und die Steigerung des Anteils der Binnenschifffahrt am Verkehrsaufkommen ermöglicht werden kann, sind effiziente Umschlaganlagen nötig und für eine optimale Planung ist eine transparente Vernetzung der Verkehrsträger hilfreich. Durch eine Erhöhung der Transparenz im kombinierten Verkehr insbesondere auf Hinblick der Gesamtkosten und der Transportzeit kann der kombinierte Verkehr stärker in die Logistikkette einbezogen werden, da dieser in vielen Fällen günstiger und ressourcenschonender ist als ein reiner LKW-Transport. Der kombinierte Verkehr wird auch von staatlicher Seite durch Maßnahmen beim Bau von Umschlaganlagen und steuerlichen Vergünstigungen gefördert. ²⁶

2.2.4 Prognose und Entwicklung der Binnenschifffahrt

Laut der Mittelfristprognose des deutschen Bundesverkehrsministeriums wird das Güteraufkommen im Bereich der Binnenschifffahrt bis 2017 leicht zunehmen. So wird bei der Transportleistung ein Zuwachs von 2,7 % erwartet. Dabei muss insbesondere die Bahn mit einem Rückgang der Transportleistung rechnen. Ein Grund für diesen Zuwachs ist der höhere Anteil des kombinierten Verkehrs insbesondere bei den höherwertigen Gütern wie Konsumgüter, Metalle und Maschinen. Auch der Zuwachs des Hinterlandtransports von den Seehäfen insbesondere auf dem Rhein spielt eine wichtige Rolle bei diesem mittelfristigen Wachstum. ²⁷

Eine langfristige Prognose bis 2025 für Deutschland kündigt ein unterproportionales Wachstum im Vergleich zu den übrigen Verkehrsträgern an. Gegenüber 2004 steigt zwar die Verkehrsleistung um ca. 26 %, liegt aber dabei immer noch hinter der Entwicklung von Straße und Schiene. Dadurch sinkt auch der relative Marktanteil im Modal Split. ²⁸

²⁵ vgl. Clausen U., Geiger Ch., 2013, S.253 ff.

²⁶ vgl. www.bmvi.de/DE/VerkehrUndMobilitaet/Verkehrspolitik/GueterverkehrUndLogistik/KombinierterVerkehr/kombinierter-verkehr_node.html (gelesen am: 17.11.2015)

²⁷ vgl. www.binnenschiff.de/content/pressemitteilung/mittelfristprognose-gueterverkehr-2015-2017-binnenschifffahrt-weiter-im-aufwind-transportmenge-und-transportleistung-auf-dem-wasser-steigen-weiter-an/ (gelesen am: 12.12.2015)

²⁸ vgl. www.shortseashipping.de/de/service/pdf/verkehrsprognose-2025-kurzfassung.pdf (gelesen am: 12.12.2015)

In Abbildung 6 ist die prozentuale Verteilung der Verkehrsleistung bezogen auf Tonnenkilometer und auf die drei großen Transportmedien im Jahre 2004 abgebildet. Den größten Anteil macht mit 70 % die Straße aus. Die Schiene mit 18 % und die Binnenwasserstraßen mit 12 % liegen deutlich darunter.

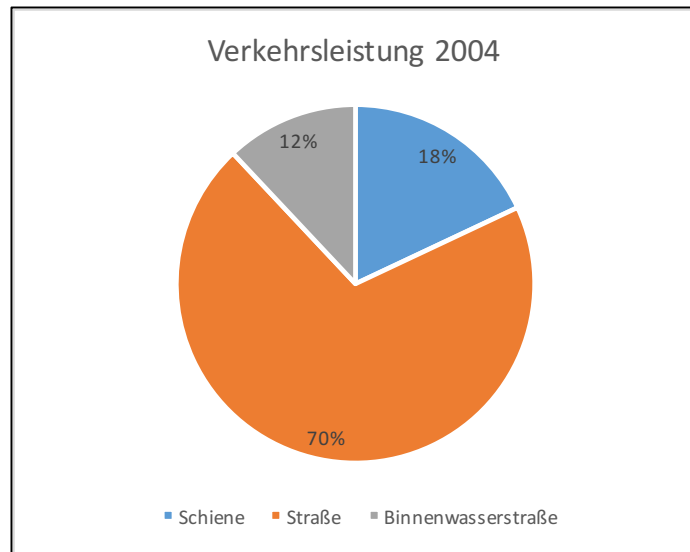


Abbildung 6: Verkehrsleistung 2004 ²⁹

Eine Prognose für die Verkehrsleistung im Jahr 2025 ist in Abbildung 7 in einem Diagramm zu erkennen. Auch wenn die gesamte Verkehrsleistung steigt, ist bei Schiene und Binnenschifffahrtsstraßen im Vergleich zur Straße ein prozentualer Rückgang zu erwarten.

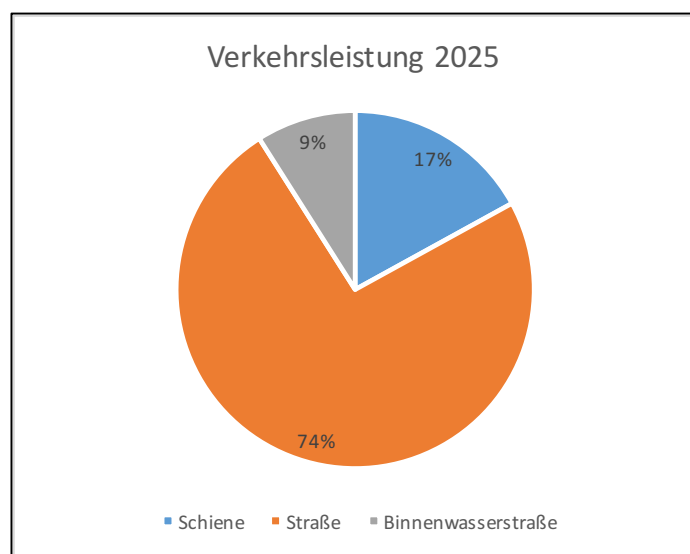


Abbildung 7: Verkehrsleistung 2025 – Prognose ²⁹

²⁹ vgl. www.shortseashipping.de/de/service/pdf/verkehrsprognose-2025-kurzfassung.pdf
(gelesen am: 12.12.2015)

2.3 Wasserstraßennetz

2.3.1 Wasserstraßenklassen

Das europäische Wasserstraßennetz besteht aus frei fließenden und kanalisiertes Flüssen, welche durch Kanäle und Schleusen miteinander verbunden sind. Dabei geben die Kanäle und die Dimensionen der Schleusen die maximalen Maße der Schiffe auf den jeweiligen Wasserstraßen vor. Im Jahr 1879 beschließt der Französische Minister für öffentliche Arbeit, Charles de Freycinet, den Ausbau der bestehenden Kanäle und den Neubau von 9.000 km neuer Kanäle. In diesem Zusammenhang wird auch ein so genanntes „Standardschiff“ für diese neuen Kanäle definiert. Dieses hat die Dimension von 38,5 x 5,05 m und eine Ladekapazität von 300 Tonnen. Diese Schiffsklasse heißt „Peniche“ oder „Spits“ und definiert heute die Wasserstraßenklasse I. Ein Beispiel für diese Schiffklasse ist in Abbildung 8 mit dem Güterschiff „Westropa“ mit den Maßen 38,5 x 5 m abgebildet.³⁰



Abbildung 8: Peniche- Klasse I³¹

Im Jahre 1954 wurde von der Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT), der Europäischen Verkehrsministerkonferenz, ein Klassifizierungssystem für die Wasserstraßen erstellt und eingeführt. Dieses besteht aus fünf Klassen, welche auf fünf verschiedene Schiffstypen basieren. Dabei entspricht die Klasse IV den Dimensionen des Rhein-Herne-Kanals und wird als Standard der europäischen Schifffahrt definiert. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 9 mit dem Europaschiff „MS Therese“ mit den Maßen 80 x 8,2 m zu sehen. Ab 1957 waren die ersten Schubverbände auf dem Rhein unterwegs, welche im Abschnitt 2.3.2 noch genauer definiert werden. Die CEMT reagierte im Jahr 1961 durch das Hinzufügen der Klasse VI in die Wasserstraßenklasse auf diese Veränderung. Allerdings stellte sich heraus,

³⁰ vgl. Waterway Guidelines, 2011, S. 13

³¹ vgl. www.binnenschifferforum.de/forum/attachment.php?attachmentid=455155&d=1393752874
(gelesen am: 17.11.2015)

dass diese Klasse unzureichend ist und die PIANC, der Weltverband für die Schifffahrt Infrastruktur, veranlasste eine Überarbeitung des bisherigen Klassifizierungssystems.³⁰



Abbildung 9: Europaschiff – Klasse IV ³²

Im Jahre 1992 wird eine überarbeitete Klassifizierung der Wasserstraßen herausgegeben. Die Klasse V und VI sind nun in weitere Unterklassen gegliedert und die Klasse VII wird eingeführt. Da in Osteuropa die Wasserstraßen anders aufgebaut sind, wird in der neuen Klassifizierung der Wasserstraßen zwischen den Gebieten westlich und östlich der Elbe unterschieden. Die aktuellen Wasserstraßenklassen für Westeuropa sind in Abbildung 10 abgebildet. Die neue Klassifizierung der Wasserstraßen schreibt auch vor, dass bei Modernisierung von Wasserstraßen der Klasse IV diese danach mindestens Klasse Va erreichen sollen und somit für das so genannte Großmotorschiff mit den Maßen 110 x 11,4 m befahrbar sein müssen. Ebenfalls sollen neue oder modernisierte Wasserstraßen von internationaler Bedeutung mindestens die Klasse Vb erreichen. Ziel des Berichts von 1992 ist, in Europa ein einheitliches Wasserstraßensystem zu verwirklichen und dadurch eine durchgehende Schifffahrt zu ermöglichen. Dies ist eine Voraussetzung, um den Anteil der Binnenschifffahrt am gesamten Transportaufkommen zu steigern und eine einheitliche Wasserstraßenklasse zu erhalten.³³

³² vgl. www.saaleverein.de/typo3temp/pics/DSC00014_01_114925772f.jpg (gelesen am: 17.11.2015)

³³ vgl. Resolution No. 92/2 on new classification of inland waterways, S. 1










	Type de voies navigables Type of inland waterway	Classe de voies navigables Class of navigable waterway	Automoteurs et chalands Motor vessels and barges					Convois poussés Pushed convoys					Hauteur minimale sous les ponts Minimum height under bridges
			Type de bateaux: caractéristiques générales Type of vessel: générales characteristics					Type de convoi- Caractéristiques générales Type of convoy- Générales characteristics					
			Dénomination Designation	Longueur Length	Largeur Beam	Tirant d'eau Draught	Tonnage Tonnage		Longueur Length	Largeur Beam	Tirant d'eau Draught	Tonnage Tonnage	
D'INTERET REGIONAL	OF REGIONAL IMPORTANCE			m	m	m	t		m	m	m	t	m
		I	Péniche Barge	38.50	5.05	1.80-2.20	250-400						4.00
		II	Kast-Caminois Campine-Barge	50-55	6.60	2.50	4.00-650						4.00-5.00
		III	Gustav Koenings	67-80	8.20	2.50	650-1000						4.00-5.00
D'INTERET INTERNATIONAL	OF INTERNATIONAL IMPORTANCE	IV	Johan Welker	80-85	9.50	2.50	1000-1500		85	9.50	2.50-2.80	1250-1450	5.25/or 7.00
		Va	Grand bateaux Rhenands/Large Rhine Vessels	95-110	11.40	2.50-2.80	1500-3000		95-110	11.40	2.50-4.50	1600-3000	5.25/or 7.00/or 9.10
		Vb							172-185	11.40	2.50-4.50	3200-6000	
		Vla							95-110	22.80	2.50-4.50	3200-6000	7.10/or 9.10
		Vlb		140	15.00	3.90			185-195	22.80	2.50-4.50	6400-12000	7.10/or 9.10
		Vlc						 	270-280 193-200	22.80 33.00-34.20	2.50-4.50 2.50-4.50	9600-18000	9.10
		VII						 	285 195	33.00 34.20	2.50-4.50	14500-27000	9.10

Abbildung 10: Wasserstraßen-Klassifizierung ³⁴

³⁴ vgl. Waterway Guideline, 2011, S. 14

In der ersten Spalte der Klassifizierungstabelle aus Abbildung 10 sind die einzelnen Klassen in zwei Gewichtungen unterteilt. So sind die Klassen I-III lediglich von regionaler und die übrigen Klassen von IV-VII von internationaler Bedeutung. In der zweiten Spalte werden die Klassen mit römischen Zahlen durchnummeriert, welche als Bezeichnung dienen. Des Weiteren ist die Tabelle in zwei große Bereiche eingeteilt. Zum einen gibt es Informationen zu Motorschiffen und zum anderen zu zusammengesetzten Schiffen wie Schubverbänden. Diese Bereiche unterteilen sich jeweils in Spalten mit folgenden Informationen: Länge, Breite, Tiefgang und Gewicht bzw. maximale Transportkapazität. Bei den zusammengesetzten Schiffen sind noch die jeweilige Anordnung der Lastkähne und die jeweiligen Maße abgebildet. In einer letzten Spalte ist die niedrigste Durchfahrtshöhe unter Brücken für die jeweilige Wasserstraßenklasse aufgelistet.

Betrachtet man die Klassifizierungstabelle der CEMT in Abbildung 10 genauer, dann ist zu erkennen, dass sich die Wasserstraßenklassen I-III lediglich in den Dimensionen und dem maximalen Gewicht der Schiffe unterscheiden. Bedeutender für die internationale Binnenschifffahrt in Europa sind die Klassen IV-VIII. Die Untergruppen wie Va oder Vb unterscheiden sich in der Zusammensetzung der Schubverbände. Hierbei sind Verbände von einem Schleppschiff mit einem Leichter (antriebsloser Transportkahn) bis hin zu sechs Leichtern in verschiedenen Dimensionen und Anordnungen bis zu einer bestimmten maximalen Gesamtlänge bzw. Gesamtbreite kombinierbar.

Beim Befahren der Wasserstraßen in Europa und bei einer Routenplanung ist es nötig die jeweiligen vorliegenden Klassen zu beachten, da diese die maximale Größe der Schiffe vorgeben und auch etwas über die maximale Ladekapazität aussagen. Insbesondere bei langen Routen mit vielen unterschiedlichen Flüssen und Kanälen spielen die verschiedenen Wasserstraßenklassen eine wichtige Rolle bei der Wahl des Schiffes, damit unter Beachtung der vorliegenden Klassen die optimale Schiffgröße gewählt werden kann. Die Schiffgröße spielt insbesondere beim Containertransport eine wichtige Rolle bezüglich der Wirtschaftlichkeit und den Transportkosten pro transportiertem Container.

2.3.2 Schiffe

Neben den Abmaßen bzw. der jeweiligen Wasserstraßenklasse können die Binnenschiffe nach der Art der Ladung, die transportiert wird, unterschieden werden. Je nach dem, welche Güter transportiert werden, unterscheiden sich die Schiffe in Aufbau und Ausstattung:

- **Massengutfrachter/Bulkcarrier:** Diese Art von Schiffen sind für den Transport von Schüttgut wie Getreide, Erze, Kohle usw. ausgelegt. Der Ladebereich des Schiffes kann in kleinere Einheiten unterteilt oder ein großer Ladebereich sein. Ballasttanks verhindern eine Schiefelage bei einem Verrutschen der Ladung und es kann mit deren Hilfe der Tiefgang reguliert werden. Je nach Art der Ladung kann noch zwischen Schiffen mit Laderaumabdeckung für den Transport wasserempfindlicher Fracht wie z.B. Getreide und welchen ohne, für beispielsweise Kohle oder Erze, unterschieden werden.³⁵
- **Tanker:** Flüssige und gasförmige Güter werden auf Tankern transportiert. Für eine höhere Sicherheit werden diese Schiffstypen mit einer Doppelwand gebaut um bei einer Havarie das Risiko für das Austreten gefährlicher Stoffe zu reduzieren. Des Weiteren ist der Laderaum in kleine Einheiten unterteilt. Auf dem Deck sind viele Rohrleitungen und Anschlüsse zu erkennen, welche zum Be- und Entladen des Schiffes benötigt werden.³⁶
- **Ro-Ro-Schiff:** Auf diesen Schiffen können rollende Güter wie LKW, PKW und Züge transportiert werden. Insbesondere beim KFZ-Transport kommen diese Schiffe im Bereich der Binnenschifffahrt zum Einsatz. Für das Be- und Entladen sind in den Häfen besondere Rampen notwendig, damit die Fahrzeuge direkt und sicher auf das Schiff fahren können. Meistens führen allerdings die Ro-Ro-Schiffe eigene Beladungsrampen mit sich.³⁷
- **Containerschiffe:** Dieser Schiffstyp ist so gebaut, dass möglichst viele Container darauf Platz finden. Hierfür werden im Schiffsbauch Führungsschienen angebracht, wodurch die Container fixiert werden und an ihrer vorgesehenen Position bleiben. Die maximale Stapelhöhe der Container wird in der Binnenschifffahrt durch die Brückenhöhe auf den Wasserstraßen vorgegeben. Durch die leichte und einheitliche Handhabung im Stückgutbereich erlangt der Container als Transporteinheit auch in der Binnenschifffahrt immer größere Bedeutung.³⁸
- **Stückgutfrachter:** Im Gegensatz zum Massengutfrachter ist dieses Schiff für Stückgut und Sonderfrachten ausgelegt. Die Laderäume sind veränderbar und können der jeweiligen Fracht angepasst werden. Dabei kann der Laderaum in

³⁵ vgl. www.schiffslexikon.com/bulk-carrier-37.html (gelesen am: 08.11.2015)

³⁶ vgl. www.schiffslexikon.com/tanker-48.html (gelesen am: 08.11.2015)

³⁷ vgl. www.schiffslexikon.com/ro-ro-schiffe-41.html (gelesen am: 08.11.2015)

³⁸ vgl. www.schiffslexikon.com/containerschiff-14.html (gelesen am: 08.11.2015)

manchen Fällen auch für den Transport von Containern verwendet werden. Der Anteil der Stückgutfrachter ist rückläufig, da diese von Containerschiffen ersetzt werden.³⁹

Eine weitere Einteilung der Binnenschiffe erfolgt nach der Motorisierung bzw. Bauart der Schiffe, welche nachfolgend erläutert werden:

- **Motorgüterschiff:** Dieser Schiffstyp besteht aus einer starren, festen Verbindung zwischen dem Antriebsteil und dem Laderaum. Je nach transportierter Fracht gibt es verschiedene Modelle von Motorschiffen, welche im vorherigen Abschnitt bereits erläutert wurden. Motorschiffe gibt es in verschiedenen Längen, welche sich an den Wasserstraßenklassen orientieren. In den meisten Fällen ist bei diesem Schiffstyp im hinteren Teil die Steuerbrücke und darunter befinden sich Unterkünfte für die Besatzung. In Abbildung 11 ist ein solches Motorschiff für Massengüter mit einem geschlossenen Laderaum abgebildet.⁴⁰



Abbildung 11: Motorgüterschiff - Massengut mit Abdeckung⁴¹

- **Schubverband:** Ein Schubverband besteht aus einem Schubboot und so genannten Leichtern, welche die Ladung aufnehmen. Das Schubboot ist für den Antrieb und das Manövrieren zuständig und hat eine dementsprechende Motorleistung. Zusätzlich ist auf diesem die komplette Technik und die Mannschaft untergebracht. Die Leichter werden mit dem Schubboot starr verbunden, besitzen aber keinen eigenen Antrieb. Ein großer Vorteil von Schubverbänden ist das zügige Wechseln der Leichter vom Schubboot beispielsweise im Hafen. Während die Leichter Be- oder Entladen werden, kann das Schubboot bereits mit beladenen Leichtern weiterfahren und der Zeitverlust kann dadurch reduziert und die Auslastung der Schubboote erhöht werden. Auch kann die Größe bzw. Transportkapazität von Schubverbänden

³⁹ vgl. www.schiffslexikon.com/stueckgutfrachter-46.html (gelesen am: 08.11.2015)

⁴⁰ vgl. www.tis-gdv.de/tis/tagungen/svt/svt07/renner/inhalt04.htm (gelesen am: 08.11.2015)

⁴¹ vgl. www.schiffbilder.de/bild/fluesse-und-seen~deutschland~weser-und-nebenfluesse/12904/binnenschiff-fighter-am-91009-auf-der.html (gelesen am: 08.11.2015)

individuell und nach Bedarf durch eine unterschiedliche Anzahl an Leichtern angepasst werden. Je nach Transportgut unterscheiden sich die Leichter untereinander. In Abbildung 12 ist ein Schubboot mit 6 Leichtern für Massengut, welcher als zweigliedriger Drillingsverband unterwegs ist, abgebildet.⁴²

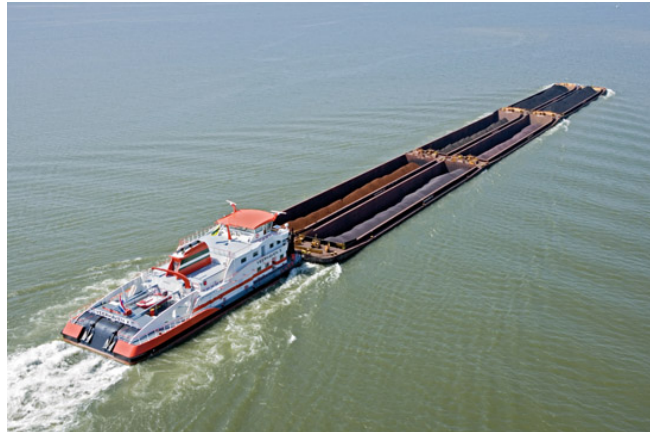


Abbildung 12: Schubverband "Veerhaven X"⁴³

Je nach Wasserstraße können unterschiedlich große Motorschiffe und Schleppverbände eingesetzt werden. Außerdem müssen die Häfen entlang der jeweiligen Wasserstraße auf die transportierte Ware ausgelegt sein und eine entsprechende Infrastruktur aufweisen. Bei dem Transport von Containern ist z.B. ein Umschlagplatz von Schifffahrt auf Güterzug oder LKW notwendig, da die wenigsten Firmen einen eigenen Containerhafen besitzen und die Container vom Umschlagplatz weiter zum eigentlich Zielort transportiert werden müssen.

2.3.3 Arten von Wasserstraßen

In der Binnenschifffahrt können die Wasserstraßen in drei Kategorien eingeteilt werden. Diese unterscheiden sich dahingehend, dass sie entweder natürlich und ohne starken künstlichen Einfluss sind oder mit Hilfe von Veränderung schiffbar gemacht wurden. Eine weitere Kategorie sind komplett künstliche Wasserstraßen wie der Mittellandkanal, welche die natürlichen Wasserstraßen miteinander verbinden.

- **Frei fließende, natürliche Gewässer:** Diese Flussabschnitte liegen noch nahezu in ihrer ursprünglichen Form vor und wurden kaum oder gar nicht durch wasserbauliche Maßnahmen verändert. Lediglich Fahrrinnen können ausgebaggert und größere Unterwasserhindernisse beseitigt worden sein. Da bei den frei fließenden Gewässern keine Flussregulierung stattfinden kann, sind diese Abschnitte der Wasserstraßen besonders bei Hoch- und Tiefwasser anfällig bezüglich der Schiffbarkeit. Damit auch bei Niedrigwasser eine

⁴² vgl. Strobl T., Zunic F., 2006 , 359 f.

⁴³ vgl. www.tis-gdv.de/tis/tagungen/svt/svt07/renner/abb58.jpg (gelesen am: 08.11.2015)

gefahrenfreie Schifffahrt möglich ist, können auch Buhnen und Leitwerke errichtet werden, welche das Wasser Richtung Fahrrinne leiten. Dabei werden in einem rechten Winkel zum Ufer Steinwälle in einem bestimmten Abstand zueinander errichtet.⁴⁴



Abbildung 13: Mühlhamer Schleife bei Deggendorf⁴⁵

In Abbildung 13 ist das letzte frei fließende Stück Donau in Deutschland abgebildet. Das Durchfahren der Mühlhamer Schleife bedeutet einen erhöhten zeitlichen Aufwand und durch die fehlende Stauregulierung ist ein Befahren bei Hoch- bzw. Niedrigwasser oftmals nicht möglich. Für die Schifffahrt wäre es deswegen sinnvoll, einen Kanal mit Stauwerk zu errichten. Dieser ist in der Abbildung mit den roten Strichen dargestellt. Allerdings würde diese Maßnahme auch das Landschaftsbild und die einzigartige Gegend für immer zerstören und den ursprünglichen Flussverlauf deutlich verändern. Aus diesem Grund wird seit Jahren über den Ausbau diskutiert und dieser ist noch nicht realisiert.⁴⁶

- **Kanalisierte Fluss:** Führt ein Fluss für eine durchgehende Schifffahrt zu wenig Wasser bzw. kommt es immer wieder zu starken Wasserschwankungen ist eine Stauregulierung notwendig. Diese ermöglicht Hoch- und Niedrigwasser auszugleichen und dadurch ist eine längere Schiffbarkeit des betroffenen Flussabschnittes möglich. Durch die Stau- bzw. Wehranlage steigt der Wasserspiegel an und die Ufer des Flusses müssen erhöht bzw. abgedichtet werden. Diese Anlagen werden Stauhaltung genannt und sind

⁴⁴ vgl. Vischer D., Huber A., 2002, S. 272 ff.

⁴⁵ vgl. Google-Earth: Mühlhamer Schleife

⁴⁶ vgl. www.bn-deggendorf.de/seiten/donau_ausbau/varianten/index_ausbau_varianten.htm (gelesen am: 05.11.2015)

trapezförmige Dämme aus Erde, Steinen oder Beton, welche entlang der Ufer aufgezogen werden, um das Wasser zurückzuhalten. Die meisten natürlichen Flüsse sind mittlerweile kanalisiert und mit Staustufen versehen. Diese dienen neben der Wasserregulierung auch der sauberen Energiegewinnung aus der Wasserkraft.⁴⁷

- **Kanal:** Diese Teile von Wasserstraßen sind speziell für die Schifffahrt errichtet und nahezu komplett künstlich geschaffen. Die Uferböschung eines Kanals muss so gestaltet werden, dass sie auch den Auswirkungen des Schiffsbetriebs wie Wellenschlag, Sog oder Schraubenstrahl, standhält und nicht undicht bzw. brüchig wird. Die künstlich erschaffenen Kanäle werden meistens mit Stauanlagen und Schleusen von natürlichen Flüssen abgetrennt, falls diese ein unterschiedliches Höhenprofil besitzen. Beim Bau solcher künstlicher Wasserstraßen ist darauf zu achten, dass sie sich in das Landschaftsbild einfügen. Die Kanäle können auch zur Wasserwirtschaft wie z.B. zur Bewässerung oder für einen Hochwasserschutz verwendet werden. Die wichtigsten Kanäle im europäischen Binnenschifffahrtsnetz sind der Mittellandkanal und der Nord-Ost-See-Kanal. Erwähnenswert ist auch noch der Main-Donau-Kanal. Auf diese Kanäle wird im nachfolgenden Kapitel detailliert eingegangen. In Abbildung 14 ist ein Ausschnitt des Rhein-Herne Kanals, der von Duisburg bis nach Dortmund führt, zu sehen. Auffallend ist die gerade Flussführung. Auf der gegenüberliegenden Seite ist die Kanalwand in Trapezform zu erkennen. Entlang der künstlichen Kanäle führen meist Wege und sie dienen als Erholungsgebiete.⁴⁷



Abbildung 14: Rhein-Herne Kanal⁴⁸

⁴⁷ vgl. Patt H., Gonsowski P., 2011. S. 370 ff.

⁴⁸ vgl. www.altenessen.info/images/stories/album/img_pictures/originals/rhein-herne-kanal_7_20070426_1338030821.jpg (gelesen am: 17.11.2015)

2.3.4 Wichtige Kanäle und Flüsse

Nachfolgend wird auf einige wichtige Wasserstraßen und Kanäle eingegangen. Die wichtigsten in Europa sind der Rhein, die Donau und der Mittellandkanal. Der Main-Donau-Kanal hat, bezogen auf das Transportaufkommen, eine eher untergeordnete Rolle, hat aber dennoch eine Bedeutung, da er die großen Wasserstraßen Rhein und Donau unter Einbezug des Mains miteinander verbindet und dadurch ein durchgehendes Wasserstraßennetz vom Schwarzen Meer bis zur Nord- und Ostsee ermöglicht.⁴⁹

- **Rhein:** Der Rhein zählt zu den meistbefahrenen Binnenwasserstraßen weltweit und ist die Wasserstraße mit dem größten Verkehrs- und Transportaufkommen Europas. Der schiffbare Bereich des Rheins ist 885 km lang und beginnt in Rheinfelden und endet in der Nordsee bei Rotterdam. Dabei ist der Rhein in drei große Gebiete unterteilt, welche sich durch das jeweilige Gefälle unterscheiden: Oberrhein, Mittelrhein und Niederrhein.⁵⁰ Auf dem Rhein verkehren täglich bis zu 600 Schiffe und es werden ca. 310 Mio. t Güter pro Jahr transportiert. Zu den wichtigsten Häfen auf der Rheinroute gehört der Duisburger Hafen und der Containerhafen in Rotterdam, auf welche in Kapitel 2.3.6 detailliert eingegangen wird.^{51, 52}
- **Donau:** Die Donau ist der zweitlängste Fluss Europas und ist auf einer Länge von 2.415 km befahrbar. Der für die Binnenschifffahrt befahrbare Teil erstreckt sich von Kelheim bzw. der Mündung in den Main-Donau-Kanal bis nach Sulina, wo die Donau ins Schwarze Meer mündet. Die Donau durchfließt vom Ursprung bis zur Mündung 10 verschiedenen Staaten und zwar folgende: Deutschland, Österreich, Slowakei, Ungarn, Kroatien, Serbien, Rumänien, Bulgarien, Moldau, Ukraine. Neben dem Güterverkehr boomen auch der Personenverkehr bzw. die Donaukreuzfahrten insbesondere in den letzten Jahren sehr.⁵³
- **Mittellandkanal:** Der Mittellandkanal erstreckt sich vom Wasserstraßenkreuz bei Magdeburg bis zum Dortmund-Ems-Kanal bei Bergeshövede und hat eine Länge von 320 km. Damit stellt er die einzige Ost-West-Verbindung Norddeutschlands dar und hat mit einem Transportaufkommen von 23 Mio. t pro Jahr eine große wirtschaftliche Bedeutung. Mit dem ersten Teil des Kanals zwischen Bergeshövede und Hannover wurde 1906 begonnen und ab 1915 fuhren bereits auf einem ersten Teil des Kanals Schiffe. Der Kanal wurde 1938

⁴⁹ vgl. www.wsv.de/wsd-s/wasserstrassen/bundeswasserstrassen/mdk/index.html (gelesen am: 05.11.2015)

⁵⁰ vgl. www.wsd-west.wsv.de/wasserstrassen/verkehrsweg_rhein/geografische_daten/index.html (gelesen am: 05.11.2015)

⁵¹ vgl. www.ccr-zkr.org/12030100-de.html (gelesen am: 05.11.2015)

⁵² vgl. www.duisport.de/media/files/540dc045125ae-duisport_factsheet_de.pdf (gelesen am: 05.11.2015)

⁵³ vgl. www.viadonau.org/wirtschaft/transportachse-donau/ (gelesen am: 05.11.2015)

mit dem Bau des Schiffhebewerkes bei Magdeburg und der Schleuse Sülfeld fertig gestellt. Die Wasserstraßenbrücke über die Elbe konnte allerdings nicht mehr fertig gestellt werden und der Bau wurde wegen des 2. Weltkrieges 1942 eingestellt. Nach dem Krieg befand sich ein Teil des Mittellandkanals in Ostdeutschland, weswegen auch in dieser Zeit die Wasserstraßenbrücke nicht vollendet wurde. Erst 2003 wurde diese und die Doppelschleuse Hohenwarthe und damit auch der Mittellandkanal fertig gebaut. Mit der Trogbrücke über die Elbe, welche in Abbildung 15 zu sehen ist, können die Schiffe die Elbe auf direktem Wege überqueren und müssen nicht den Umweg über die Elbe nehmen. Die Kanalbrücke hat eine Länge von 918 m und ist die längste ihrer Art in Europa. Der Nutzen und die Auslastung der Wasserstraßenbrücke ist immer noch umstritten. Allerdings ist es eines der touristischen Highlights Magdeburgs geworden. Der Kanal verliert durch Verdunstung und Schleusenvorgänge konstant Wasser, welches mit Hilfe einer Pumpenanlage bei Minden durch Weserwasser wieder ausgeglichen wird. Da der Kanal für ein deutlich geringeres Verkehrsaufkommen und kleinere Frachtschiffe geplant war, wird er seit Jahren Stück für Stück auf die Wasserstraßenklasse Vb erweitert.⁵⁴



Abbildung 15: Wasserstraßenkreuz Magdeburg⁵⁵

- **Main-Donau-Kanal:** Der Main-Donau-Kanal stellt eine Verbindung zwischen der Donau und dem Main dar und verbindet Osteuropa mit Mittel- bzw. Westeuropa. Der Kanal hat eine Länge von 171 km und erstreckt sich von Bamberg bis Kelheim. Dabei wird mit 16 Staustufen und einem Höhenunterschied von 240 m das Mittelgebirge „Fränkische Alb“ überquert und die Schiffe fahren quasi bergauf. Der Kanal wurde zwischen 1960 und 1992 erbaut. Der Vorgänger einer solchen Verbindung war der Ludwig-Donau-Main-Kanal welcher von König Ludwig I. 1846 vollendet wurde. Da der Kanal

⁵⁴ vgl. www.wsa-minden.de/wasserstrassen/mittellandkanal/ (gelesen am: 07.11.2015)

⁵⁵ vgl. www.mz-web.de/mitteldeutschland/wasserstrassenkreuz-magdeburg-trogbruecke-verbindet-mittelland--und-elbe-havel-kanal,20641266,24561720.html (gelesen am: 07.11.2015)

für damalige Verhältnisse bereits zu klein war, verlor der Kanal bereits Ende des 19. Jahrhunderts seine Bedeutung. Der Gütertransport auf dem neuen Kanal nimmt bereits ab und das Projekt wird sehr kritisch gesehen, da bereits jetzt erheblicher Sanierungsbedarf vorliegt. Ein Vorteil des Kanals ist die Überleitung von Wasser aus Südbayern in das trockene Nordbayern.⁵⁶

Neben den beschriebenen Kanälen und Flüssen gibt es noch deutlich mehr dieser Art, welche alle eine wichtige Rolle innerhalb des europäischen Binnenschifffahrtstraßennetzes spielen. Eine Auflistung und Beschreibung dieser würde den Rahmen sprengen und ist deswegen nicht Bestandteil dieser Arbeit.

2.3.5 Schleusen und Hebewerke

Die Flüsse und Kanäle der europäischen Binnenschifffahrtsstraßen sind mit zahlreichen Staumauern bzw. Wehren versehen. Durch ein kontrolliertes Aufstauen bzw. Ablassen des Wassers dienen die Wehre der Regulierung der Wasserhöhe auf den Wasserstraßen. Im Bereich der Energiegewinnung dienen Stauanlagen zum Rückhalten des Wassers und um eine ausreichende Fallhöhe zum Betreiben von Turbinen zu gewinnen. Durch die gezielte Regulierung der Wasserhöhe können Stauanlagen auch eine Art des Hochwasserschutzes sein.⁵⁷

Die Stauanlagen behindern die durchgehende Schifffahrt. Deswegen ist es notwendig bei jeder Stauanlage auch ein Bauwerk zu errichten, welches ein Überwinden der Fallstufe ermöglicht. Hierfür gibt es zwei grundlegend unterschiedliche Methoden. Zum einen die so genannte Schiffsschleuse, bei der durch Füllen oder Leeren einer Schleusenkommer ein Schiff entweder gehoben oder gesenkt wird und auf das gewünschte Flussniveau gebracht werden kann. Zum anderen werden Höhenunterschiede mit Hilfe von Schiffshebewerken ausgeglichen. Nachfolgend werden die verschiedenen Bauwerke zum Überwinden einer Staustufe beschrieben:⁵⁸

- **Kammerschleuse:** In der Binnenschifffahrt wird zwischen zwei unterschiedlichen Schleusenarten unterschieden. Die Kammerschleuse ist die am meisten verbreitete und war die Voraussetzung für die Kanalisierung und dem Bau von Wasserkraftwerken auf Binnenschifffahrtsstraßen. Die Schleusenanlage besteht aus der Schleusenkommer, welche durch zwei Tore an beiden Seiten gegen den Fluss abgeschlossen wird. Die Seite, welche zum höheren Wasserniveau abschließt, wird Obertor bzw. Oberlauf genannt. Die andere, zum niedrigeren Wasserstand zeigende, nennt man Untertor bzw.

⁵⁶ vgl. www.welt.de/regionales/bayern/article134111381/Wie-der-Main-Donau-Kanal-zum-grossen-Flop-wurde.html (gelesen am:07.11.2015)

⁵⁷ vgl. Patt H., Gonsowski P., 201, S. 121

⁵⁸ vgl. DIN 4054, S.16 f.

Unterlauf. Der Wasseraustausch in der Schleuse erfolgt durch Öffnen von unterirdischen Kanälen, um das Wasser in die gewünschte Richtung zu leiten. Folglich wird bei einem Absenken des Schiffes auf der tiefer gelegenen Flussebene das Wasser in Flussrichtung abgelassen. Bei einem Anheben des Schiffes auf das höhere Wasserniveau wird Wasser aus dem Oberlauf in die Schleusenkammer geleitet. Pumpen können den Schleusenvorgang unterstützen bzw. beschleunigen. Je nach Größe des Flusses und in Abhängigkeit von der Frequentierung der Schifffahrt werden Einfach- oder Mehrfachschleusen errichtet. Bei einer Mehrfachschleuse sind mehrere Schleusenkammern nebeneinander angeordnet.^{59, 60}

- **Sparschleusen:** Die benötigte Wassermenge für eine Schleusung bei einer durchschnittlich großen Kammerschleuse beträgt über 20.000 m³. Dies spielt bei einem Fließgewässer keine Rolle. Anders verhält es sich bei einem stehenden Gewässer wie den künstlichen Schifffahrtsstraßen. Hier würde das Wasser, welches für die Schleusung verwendet wird, im Kanalsystem fehlen. Aus diesem Grund kommen hier so genannte Sparschleusen zum Einsatz, bei denen der Wasserverlust deutlich geringer ist. Bei einer Schleusung wird das Wasser nicht in den Unterlauf abgeleitet, sondern in Nebenkammern, welche höhenversetzt neben der Schleusenkammer angebracht sind, gespeichert. Dadurch lässt sich der Wasserverbrauch um 60 % reduzieren und es müssen lediglich 40 % aus dem Oberlauf bzw. dem künstlichen Kanal verwendet werden. In Abbildung 16 ist das Funktionsprinzip einer Sparschleuse aufgezeichnet. Durch die Schwerkraft fließt das Wasser beim Abschleusen der Schiffe aus der Schleusenkammer in die Sparbecken und wird dort so lange gespeichert, bis es für den nächsten Schleusengang benötigt wird.^{61, 62}

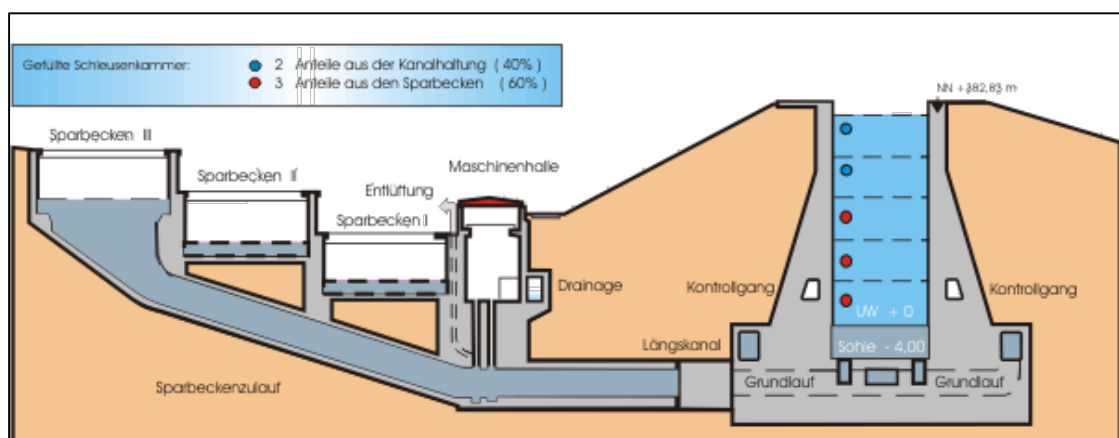


Abbildung 16: Prinzip der Sparschleuse⁶²

⁵⁹ vgl. Strobl T., Zunic F., 2006, S. 370 ff.

⁶⁰ vgl. www.wsd-west.wsv.de/wasserstrassen/wk/bauwerke/schleuse/prinzip_kammerschleuse/index.html (gelesen am: 02.10.2015)

⁶¹ vgl. Strobl T., Zunic F., 2006, S. 372 f.

⁶² vgl. www.wsa-nuernberg.wsv.de/technik/technischleuse/index.html (gelesen am: 02.10.2015)

- **Schiffshebewerk:** Eine weitere Möglichkeit, den Höhenunterschied in einer Schifffahrtsstraße zu überwinden, ist der Einsatz von so genannten Schiffshebewerken. Diese können deutlich größere Höhen als Schleusen überwinden und es ist nahezu kein Wasserverlust vorhanden. Ein Hebewerk arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie ein herkömmlicher Personen- oder Lastenaufzug. Das Schiff fährt in einen mit Wasser gefüllten Trog und wird anschließend mit Hilfe von Gegengewichten, Drahtseilen und Elektromotoren auf oder ab bewegt. Dabei wird die Kraft anhand großen, massiven Betonsäulen aufgenommen und umgeleitet. In Abbildung 17 ist das Schiffshebewerk in Lüneburg zu sehen, welches einen Höhenunterschied von 38 Meter überwindet. Bei diesem Schiffshebewerk hat ein Trog immer ein Gewicht von 5.800 t, da ein einfahrendes Schiff genau die Wassermenge bzw. Masse verdrängt, die es an Gewicht aufweist.⁶³



Abbildung 17: Schiffshebewerk Lüneburg⁶⁴

- **Schleusendauer:** Die Dauer eines Schleusenvorganges unterscheidet sich von Schleuse zu Schleuse. In Tabelle 1 ist eine Auflistung der Schleusen auf dem Dortmund-Ems-Kanal mit den jeweiligen Schleusenzeiten abgebildet. Daraus ergibt sich eine Durchschnittliche Schleusenzeit von 22 Minuten. Diese beinhaltet das Einfahren, Schleusen und das Ausfahren aus der Schleusenkammer bei einem störungsfreien Ablauf. Zusätzlich zu dieser Zeit können bei starker Frequentierung auch noch Wartezeiten vor der Schleuse auftreten. Die Dauer bei einem Schiffshebewerk unterscheidet sich ebenfalls von Bauwerk zu Bauwerk. Im Falle des Schiffshebewerkes Lüneburg nimmt ein kompletter Vorgang mit Ein- und Ausfahrt ebenfalls 20 Minuten in Anspruch, wobei der Hubvorgang per se lediglich 3 Minuten dauert. Mit möglichen Wartezeiten kann man pro Schleusen- bzw. Hubvorgang, mit Ein-

⁶³ vgl. www.schiffshebewerk-scharnebeck.de/index.php?option=com_content&task=view&id=24&Itemid=36 (gelesen am:02.10.2015)

⁶⁴ vgl. www.wsv.de/service/besucherziele/images/Hebewerk_WSV_DE.jpg (gelesen am: 02.10.2015)

und Ausfahrt, im Durchschnitt jeweils 25 – 35 Minuten veranschlagen. Auch das Ein- und Ausfahren in die Schleuse beansprucht bei einer frequentierten Schleusenkammer mehr Zeit als wenn lediglich ein Schiff alleine geschleust wird. Falls in eine Schleuse mehr, als ein Frachtschiff passt, wird oftmals noch gewartet, falls sich ein weiteres Schiff in der Nähe befindet und ebenfalls die Schleuse benutzen muss.⁶⁵

Die Werte für die Schleusendauer sind für die spätere Verwendung des Routenplanungstools interessant, da in diesem ebenfalls nach einer durchschnittlichen Schleusenzeit gefragt wird, um die Gesamtdauer einer Route zu berechnen. Hierbei ist es sinnvoll ca. 30 Minuten als Schleusenzeit anzugeben. Damit sind auch eventuelle Wartezeiten und Störungen berücksichtigt.

Tabelle 1: Durchschnittliche Schleusendauer⁶⁶

Schleusen am Dortmund-Ems-Kanal	
Schleuse	Dauer in [min]
Münster	25
Bevergern	27
Rodde	16
Altenrheine	15
Venhaus	23
Hesselte	20
Gleesen	29
Durchschnitt:	22,14

2.3.6 Häfen

Die Häfen stellen Knotenpunkte und Umschlagplätze zwischen der Binnenschifffahrt und den Transportmedien Schiene bzw. Straße in einem kombinierten Verkehr dar. Des Weiteren dienen die Häfen auch als Zwischenlager und logistische Zentren. Es gibt drei verschiedene Hafentypen, welche sich vom Betreiber unterscheiden. So gibt es öffentliche Häfen, private Häfen und Mischformen von privaten und öffentlichen Häfen. Die öffentlichen Häfen stehen dem freien Markt jederzeit zur Verfügung, wohin gegen die privaten nicht öffentlich zugänglich sind und dem Eigentümer als Umschlagplatz dienen. Die privaten Häfen sind meist Werkschiffe und Bestandteil der betrieblichen Logistikkette.⁶⁷

⁶⁵ vgl. www.wsa-uelzen.wsv.de/service/publikationen/images/Flyer_SHW_2012-05.pdf (gelesen am: 08.11.2015)

⁶⁶ vgl. www.wsa-rheine.de/wasserstrassenbereich/dek/schleusen/funktion/index.html (gelesen am 08.11.2015)

⁶⁷ vgl. Clausen u., Geiger C., 2013, S. 192 f.

Des Weiteren gibt es verschiedene Bauarten von Häfen. Angefangen von einer einfachen Hafenmauer, dem so genannten Parallelhafen, entlang des Flusses wie in Abbildung 18 Teil a zu sehen ist, über einen Dreieckshafen wie in Teil b bis hin zu Molenhäfen (Teil c) und Stichhäfen (Teil d). Die Bauart der Häfen hängt stark von den örtlichen Gegebenheiten und der benötigten Umschlagskapazität ab. So ist beispielsweise ein Parallelhafen an einer stark befahrenen Wasserstraße mit viel Sog- und Wellenschlag ungeeignet. Ein Stichhafen eignet sich für große und unterschiedliche Umschlagsmengen. Dieser kann auch mit Hilfe einer Schleuse am Eingang des Hafens zu einem Dockhafen umgewandelt werden. Dadurch kann der Hafen von starken Wasserspiegelschwankungen und starken Strömungen abgetrennt werden.⁶⁸

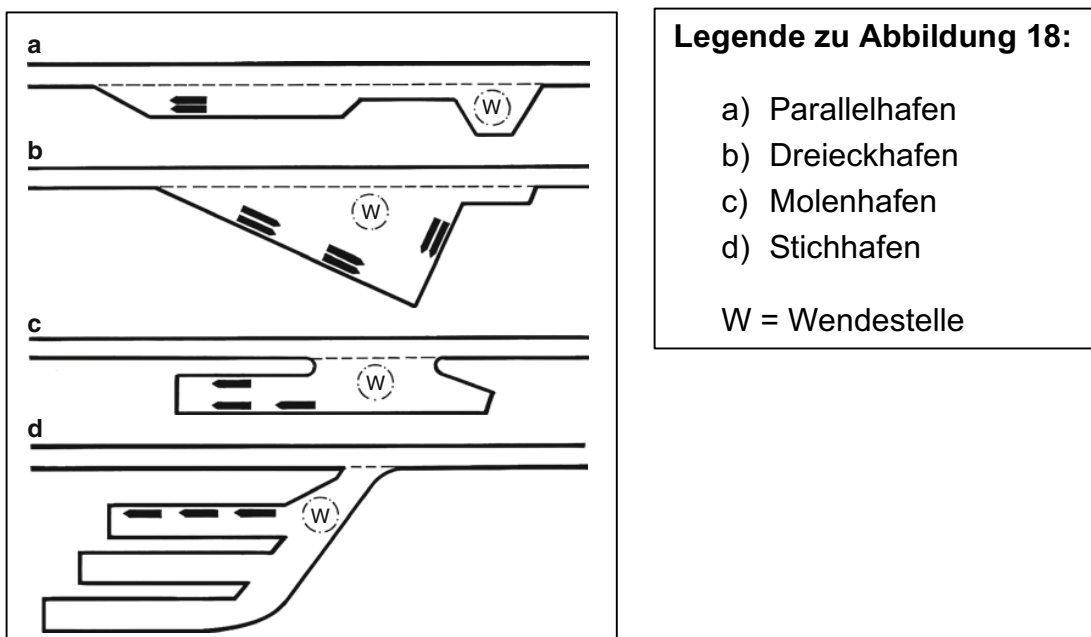
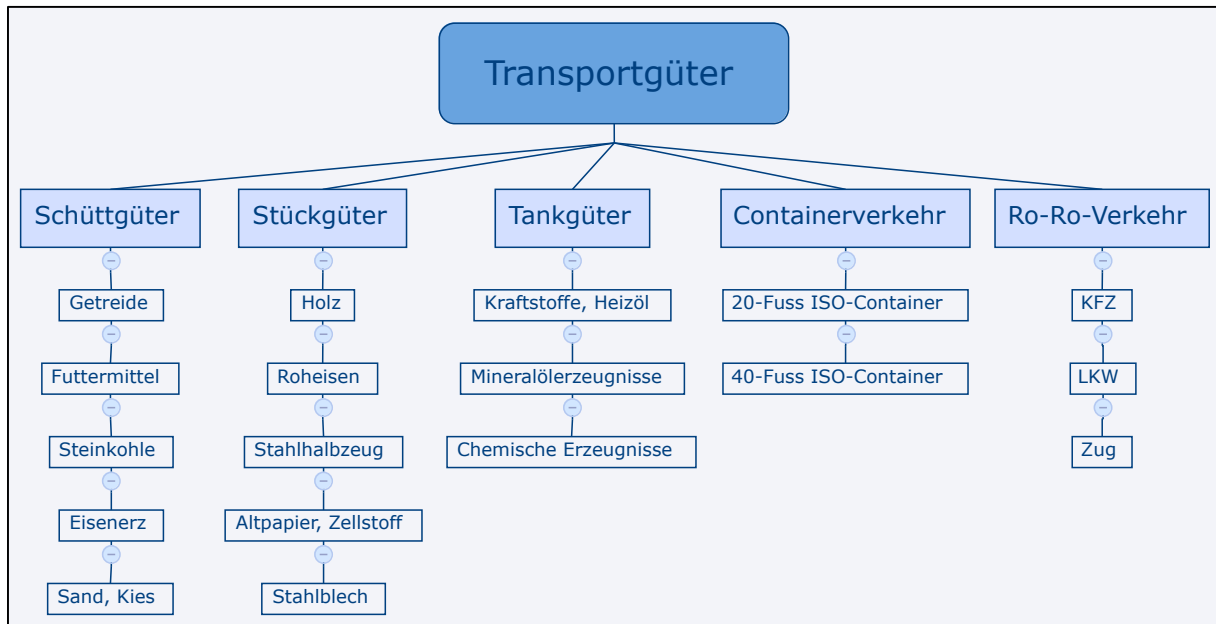


Abbildung 18: Typen von Binnenhäfen⁶⁹

Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit für die Binnenhäfen ist eine Einteilung nach Verwendungszweck und den Transportgütern, welche umgeschlagen werden. In Abbildung 19 sind die fünf Hauptkategorien der Transportgüter mit jeweiligen Beispielen zu erkennen. Abhängig von diesen werden unterschiedliche Ladevorrichtungen, verschiedene Infrastruktur und Lagerplätze in den Häfen benötigt. Nachfolgend werden die fünf Hauptkategorien erläutert.

⁶⁸ vgl. Patt H., Gonsowski P., 2011, S. 373 ff.

⁶⁹ vgl. Patt H., Gonsowski P., 2011, S. 375

Abbildung 19: Transportgüter ⁷⁰

- **Schüttgut:** Die Umschlaganlagen für Schüttgut unterscheiden sich stark von der Art des Schüttgutes. Zum Be- und Entladen werden unter anderem Stetigförderer, wie Schneckenförderer, Krananlagen mit Schaufeln oder aber auch Sauganlagen, um eine Staubbildung zu vermeiden, verwendet. Der Ladevorgang erfolgt entweder an einer Deponie bzw. Siloanlagen, in denen das Schüttgut zwischengelagert wird, oder die Fracht wird sofort auf einen anderen Verkehrsträger wie Zug oder LKW verladen. ^{70, 71}
- **Stückgut:** Beim Umschlag von Stückgut kommen in der Regel stationäre Krananlagen (z.B. Portaldreh-Kran), welche sich teils auf Schienen bewegen, zum Einsatz. Je nach Ladegut werden unterschiedliche Lastaufnahmemittel an die Krananlage angebracht. Diese könne unter anderem spezielle Greifer, Haftgeräte, Zangen, Netze oder Klauen sein. Neben den stationären Krananlagen werden auch mobile Systeme, insbesondere bei Sondertransporten und Sondergütern, eingesetzt. ⁷⁰
- **Tankgut:** Flüssige Transporteinheiten werden mit Hilfe von Pumpen befördert. Diese können entweder direkt auf dem jeweiligen Schiff mitgeführt werden oder sind im Hafen fest installiert. Neben den Pumpeinrichtungen benötigt es auch noch geeignete Zwischenlager wie Tanks, falls die Ladung nicht direkt auf das anschließende Transportmedium umgeschlagen wird. Für jede flüssige Ware ist ein gesondertes Tanklager vorzusehen um Verunreinigungen und Vermengung der Güter zu vermeiden. ⁷⁰
- **Containerverkehr:** Beim Umschlagen von Containern werden zum einen quasi stationäre Portalkräne verwendet, welche vor allem bei einem direkten

⁷⁰ vgl. www.binnenhafen.info/download/akt_5024_Abschlussbericht_Kap_3_Grundlagen.pdf (gelesen am: 29.10.2015)

⁷¹ vgl. Clausen U., Geiger C., 2013, S. 196 f.

Umschlagen von LKW oder Zug auf ein Binnenschiff ohne Zwischenlager verwendet werden. Diese können sich nur in einem geringen Ausmaß bewegen, da die Kraneinheit auf Führungsschienen bewegt wird. Zum anderen finden so genannte Teleskop- oder Frontstapler ihren Einsatz. Diese sind mobil und dadurch können die Container auch direkt in ein Zwischenlager transportiert und abgestellt werden. In Abbildung 20 sind solche Stapler im Einsatz abgebildet. Die Container benötigen keinen besonderen Lagerplatz im Umschlaghafen, sondern können auf freien, markierten Flächen aufeinandergestapelt werden. Da Container häufig in Verbindung mit kombiniertem Verkehr eingesetzt werden, sind in Containerhäfen entsprechende Umschlagplätze vorzusehen, damit die Container zwischen Binnenschiff und LKW bzw. Güterzug umgeschlagen werden können.⁷²



Abbildung 20: Teleskop- und Frontstapler im Einsatz^{73, 74}

- **Ro-Ro-Verkehr:** Für den Ro-Ro-Verkehr werden Laderampen in den Häfen benötigt, damit die Fahrzeuge direkt auf das Schiff fahren können. Die Ro-Ro-Schiffe verfügen meistens über eigene Rampen, welche zum Höhenunterschied bzw. zum Überbrücken des Abstandes zwischen Schiff und Hafenmauer benötigt werden. Dennoch muss an einem Ro-Ro-Terminal auch eine entsprechend passende Vorrichtung vorhanden sein, um die Laderampe sicher an der Hafenmauer befestigen zu können. Da in der Binnenschifffahrt meistens Neufahrzeuge transportiert werden, sind neben diesen Laderampenvorrichtungen auch noch ausreichende Lager- bzw. Stellflächen nötig, um die Fahrzeuge zwischenzulagern, bevor sie mit LKW oder Zug weiter transportiert werden.⁷⁵

⁷² vgl. Martin H., 2014, S. 316 ff.

⁷³ vgl. www.rheinuhr.hafenakademie.de/tl_files/usr/praxis_training_hahh/Hafenakademie_Reach_Stacker_00.jpg (gelesen am: 29.10.2015)

⁷⁴ vgl. www.d2h1t9243qzgjg.cloudfront.net/uploads/attachment/image/6021/gabelstapler-container.jpg (gelesen am: 29.10.2015)

⁷⁵ vgl. Clausen U., Geiger C., 2013, S. 196 f.

Der größte Binnencontainerhafen der Welt befindet sich in Deutschland und ist der Duisburger Hafen. Dieser besteht, wie in Abbildung 21 zu erkennen ist, aus zwei Teilhäfen in Duisburg und Ruhrort. In Duisburg werden neben Containern auch noch Schüttgüter wie Kohle und Flüssiggüter umgeschlagen. Hierfür sind jeweils Lager- und Verlademöglichkeiten vorhanden. Im Jahre 2013 wurden in Duisburg ca. 123 Mio. t Güter umgeschlagen. Neben der Infra- und Suprastruktur für das eigentliche Hafengeschäft werden in den Duisburg-Häfen auch noch Logistische Dienstleistungen sowie Verpackungslogistik angeboten. In dem Luftbild ist der große Stichhafen in Ruhrort und die Parallelhäfen in Duisburg zu erkennen.⁷⁶



Abbildung 21: Ruhrort-Duisburg-Häfen⁷⁷

2.3.7 Sonstige Wartezeiten auf den Wasserstraßen

Im Zusammenhang mit den beschriebenen Elementen des Wasserstraßennetzes können nicht vorhersehbare Wartezeiten auftreten. Für diese kann es mehrere Ursachen geben. Wenn eine Schleuse besetzt ist oder aktuell nicht in Betrieb, sind Schiffe gezwungen zu warten. Dazu können sie entweder in der Nähe der Schleuse ankern oder aber, falls vorhanden, am Schleusenhafen festmachen. Wenn ein Schiff auf einen freien Platz im Hafen warten muss, da die logistische Planung nicht reibungslos funktioniert oder aus einem anderen Grund, dann kann es ebenfalls in der Nähe des Hafens ankern und liegt dann auf Reede.⁷⁸

⁷⁶ vgl. www.duisport.de/media/files/540dc045125ae-duisport_factsheet_de.pdf (gelesen am: 09.11.2015)

⁷⁷ vgl. Google-Earth

⁷⁸ vgl. www.duden.de/rechtschreibung/Reede (gelesen am: 12.11.2015)

Weitere Wartezeiten können während der Fahrt insbesondere bei Engstellen und Kurven, in denen jeweils nur ein Schiff durchfahren kann, auftreten. Hierbei muss ein Bergfahrer einem Talfahrer Platz geben und solange warten, bis der Talfahrer die Engstelle passiert hat. Da es in Europa wenige frei fließende Flussstücke gibt, treten diese Wartezeiten eher selten auf. Je nach Route sollten sie dennoch mit in die Zeitrechnung mit einfließen.⁷⁹

Wartezeiten, welche in Verbindung mit Schleusen auftreten können, wurden bereits in Kapitel 2.3.5 erläutert und können durch eine höher angesetzte Schleusenzeit kompensiert werden.

In der Binnenschifffahrt können aber auch unkalkulierbare Wartezeiten wie im Straßenverkehr durch einen Stau durch Unfall auftreten. So kann auch ein Defekt am Schiff eine Weiterfahrt verzögern. Auch auf Wasserstraßen kann an Engstellen oder vor Schleusen und Häfen ein Stau entstehen, welcher nur kaum prognostiziert werden kann. Deswegen sind auch bei einer Routenplanung in der Binnenschifffahrt immer noch zeitliche Puffer mit einzuplanen, um den zeitlichen Transportplan einhalten zu können.

⁷⁹ vgl. www.elwis.de/Schiffahrtsrecht/Binnenschifffahrtsrecht/BinSchStrO/Erster_Teil/Kapitel_6/Abschnitt_II/6.07/index.html (gelesen am: 12.11.2015)

3 Routenplanung und bestehende Tools

Im dritten Abschnitt wird ein Einblick in die Routenplanung gegeben. Hierbei wird diese zuerst allgemein betrachtet und die Bedeutung einer optimalen Routenplanung aufgezeigt. Anschließend wird auf den Aufbau eines solchen Routenplanungstools und auf die zugehörige Datenbasis näher eingegangen. Schlussendlich werden vier Routenplanungstools, welche auch die Binnenschifffahrt beinhalten, untersucht und näher betrachtet. Dabei können weitere Anforderungen und Ideen für ein neues Routenplanungstool für die Binnenschifffahrt erarbeitet und abgeleitet werden.

3.1 Bedeutung der Routenplanung

Eine Routenplanung besteht nicht nur aus dem Ermitteln des direkten Weges zwischen zwei Orten via Google-Maps oder einem anderen Streckentool, sondern das Ziel der Routenplanung ist es, einen Weg zwischen zwei oder mehr Orten zu berechnen, welcher verschiedene Kriterien erfüllt und dadurch die optimale Lösung für jeden Einzelfall gewählt werden kann. So kann dieser Weg verschiedene Auflagen haben: er soll die kürzeste, schnellste oder günstigste Möglichkeit sein, um von Punkt A nach Punkt B zu kommen.⁸⁰

Innerhalb der Distributionslogistik, welche sich mit der räumlich-zeitlichen Gütertransformation, also dem Transport von Gütern innerhalb eines definierten zeitlichen Rahmens über eine örtliche Distanz, beschäftigt, hat die Routenplanung eine große Bedeutung. Aus wirtschaftlicher Sicht spielen in der Distributionslogistik, so wie in jedem anderen Bereich, insbesondere die Kosten eine große Rolle. Hier ist es demnach Aufgabe der Routenplanung die Kosten für den Transport möglichst gering zu halten. Dafür können zum einen Routen kostenoptimiert ausgelegt werden oder, wenn der Faktor Zeit eine untergeordnete Rolle spielt, verschiedene Verkehrsträger optimal miteinander kombiniert werden.⁸¹

Bei der Routenplanung müssen zwei Grundarten unterschieden werden. Die Routenplanung, welche sich auf nur einen Verkehrsträger bezieht, beispielsweise die Straße, errechnet einen Weg zwischen zwei oder mehr Standorten. Hierbei spielt meistens die Faktoren „Kosten“ bzw. „Wirtschaftlichkeit“ und „Zeit“ die größte Rolle. Des Weiteren ist eine ideale Planung der Route wichtig, damit keine bzw. möglichst wenig Leerfahrten entstehen. Eine weitere Art der Routenplanung ist das Einbeziehen mehrerer Verkehrsträger. Neben der Straße werden auch noch Schiene, Schifffahrt und Luft als Verkehrsträger in Betracht gezogen. Hierbei dient der LKW lediglich als Verbindung zwischen Startort und einer Verladestation auf Zug

⁸⁰ vgl. www.duden.de/rechtschreibung/Route (gelesen am: 13.11.2015)

⁸¹ vgl. wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/82518/distributionslogistik-v7.html (gelesen am: 13.11.2015)

oder Schiff. Durch die Verwendung des kombinierten Verkehrs können die Transportkosten gesenkt werden, da ein einziger Zug oder ein einziges Schiff deutlich mehr transportieren kann, als ein einziger LKW und zusätzlich sind auch die Auswirkungen auf die Umwelt geringer. Hierbei spielt eine gute Routenplanung eine wichtige Rolle, da der optimale Weg mit einer idealen Kombination der Verkehrsträger, um möglichst kostengünstig und schnell die Güter zwischen zwei Orten zu transportieren, ermittelt werden muss.⁸²

Eine gute Routenplanung bekommt immer größere Bedeutung, da die Ansprüche der Kunden ständig wachsen und sich mit einer optimierten Routenplanung möglichst viele Kunden innerhalb eines bestimmten Zeitraums bedienen lassen. Ein weiterer Faktor sind die wachsenden Kosten wie beispielsweise Personal- oder Betriebskosten des Verkehrsmittels. Auch ist das Umweltbewusstsein in den letzten Jahren sehr angestiegen. Letztendlich hat auch das Verkehrsaufkommen deutlich zugenommen und die Routenplanung entwickelte sich von einer eher statischen zu einer dynamischen Planung, welche optimale Routen auch bei Staus oder Auftragsänderungen kurzfristig berechnen kann. Folglich wird die Routenplanung aus wirtschaftlicher und umwelttechnischer Sicht in Zukunft noch größere Bedeutung erlangen.⁸³

3.2 Grundsätzlicher Aufbau und Datenbasis eines Tools

Für die Lösung der Aufgabenstellung ist es hilfreich, den Aufbau und die Funktionsweise von bestehenden Routenplanungstools zu kennen. Hierfür werden die einzelnen Komponenten der Routenberechnung wie z.B. Datenstruktur, Lösungsalgorithmus und weitere Besonderheiten nachfolgend betrachtet.

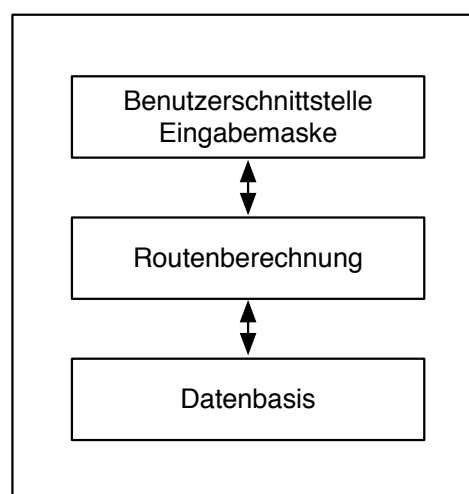


Abbildung 22: Routenberechnung - vereinfachter Aufbau

⁸² vgl. Schuh G., 2013, S.139 ff.

⁸³ vgl. www.dhl-discoverlogistics.com/cms/de/course/technologies/reinforcement/route.jsp
(gelesen am: 13.11.2015)

In Abbildung 22 ist ein sehr vereinfachter Aufbau eines Routenplanungstools dargestellt. Dieses besteht aus folgenden drei Hauptkomponenten:

- Benutzerschnittstelle
- Datenbasis
- Routenberechnung

Diese drei Elemente und der jeweilige Aufbau bzw. die Funktionsweise werden in den nachfolgenden Kapiteln genauer beschrieben.

3.2.1 Benutzerschnittstelle

Die Benutzerschnittstelle dient der Kommunikation des Benutzers mit dem System. Zu Beginn ist der Anwender aufgefordert, dem System über meist haptische Bedienelemente Informationen bezüglich der Route mitzuteilen. Je nach Art des Tools können die Benutzerschnittstellen aus einem Touchscreen, Dreh- bzw. Druckknöpfen oder aus einer einfachen Tastatur und Maus bei Verwendung eines PC-Systems bestehen. Insbesondere der Start- und der Zielpunkt sind für eine Routenberechnung notwendig. Neben diesen können auch noch weitere Anforderungen an die Route eingegeben werden. Dies können beispielsweise Optionen wie „kürzeste Route“, „schnellste Route“, „günstigste Route“ und so weiter sein. Innerhalb der Routenplanung für den Güterverkehr spielen die verschiedenen Verkehrsträger zusätzlich eine Rolle. Die Liste der möglichen Eingabeoptionen hängt stark von der Art und dem Einsatz des Routenplanungstools ab. So müssen im Falle des Routenplanungstools für die Binnenschifffahrt auch Eingabemöglichkeiten für eine Durchschnittsgeschwindigkeit gegeben sein, um die geforderte Fahrzeit ausgeben zu können.^{84, 85}

Die Benutzerschnittstelle dient aber nicht nur der Eingabe durch den Anwender, sondern auch der Ausgabe von Informationen. Nach der Berechnung der Route kann das System über die Benutzerschnittstelle die Routeninformationen darstellen. Auch hier gibt es, je nach System, unterschiede. In den meisten Fällen werden allerdings die Routendaten über ein Display ausgegeben. Je nach Umfang der Informationen gibt es verschiedene Datenformate von einfacher Anzeige auf einer Karte über eine schriftliche Auflistung in PDF-Format bis hin zu Excel Tabellen. Über die Benutzerschnittstelle kann dann der Anwender die geforderten Informationen ablesen und weiterverwenden. Auch bei Fehlermeldungen kommuniziert das System mit dem Anwender über die Benutzerschnittstelle und fordert ihn zur Korrektur auf. Insbesondere bei der Navigation kann auch eine Sprachausgabe als Schnittstelle fungieren.⁸³

⁸⁴ vgl. www.wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/75105/benutzerschnittstelle-v9.html
(gelesen am: 10.12.2015)

⁸⁵ vgl. Reif K., 2014, S. 371 f.

3.2.2 Datenbasis

Die Grundlage eines jeden Routenplanungs- bzw. Navigationstools ist die Datenbasis bzw. die Datenbank, auf welche das Tool zugreifen kann. In der Datenbasis sind sämtliche Informationen und Daten gespeichert, welche zur Berechnung und Anzeige der Routen benötigt werden. Die Daten werden nach einer definierten Struktur abgelegt und können auch flexibel geändert werden.⁸⁶

Innerhalb der Datenbank ist das Kartenmaterial für die Routenberechnung abgespeichert. Je nach Umfang und Art des Tools sind Straßen-, Schienen und Wasserstraßendaten hinterlegt. Dabei wird eine Digitale Karte mithilfe von mindestens folgenden geometrischen Objekten, welche in Abbildung 23 verdeutlicht sind, definiert: Knoten, Kanten, Kurvaturpunkte und Flächen. Dabei bildet ein Knoten eine Kreuzung oder das Ende eines Weges und die Kanten bilden die Verbindung zwischen den Knoten. Die Informationen über die Punkte werden mit Hilfe von Längen- und Breitengraden exakt definiert. Kurvaturpunkte und Kanten bilden den genauen Verlauf eines Weges ab. Flächen sind Teile, welche komplett von Punkten und Kanten eingeschlossen sind. Die Kanten bilden nicht nur die Verbindung zwischen zwei oder mehreren Punkten, sondern können auch noch weitere Informationen enthalten. So ist mindestens die Distanz zwischen zwei Punkten, also die Länge der Kante als Information hinterlegt.⁸⁷

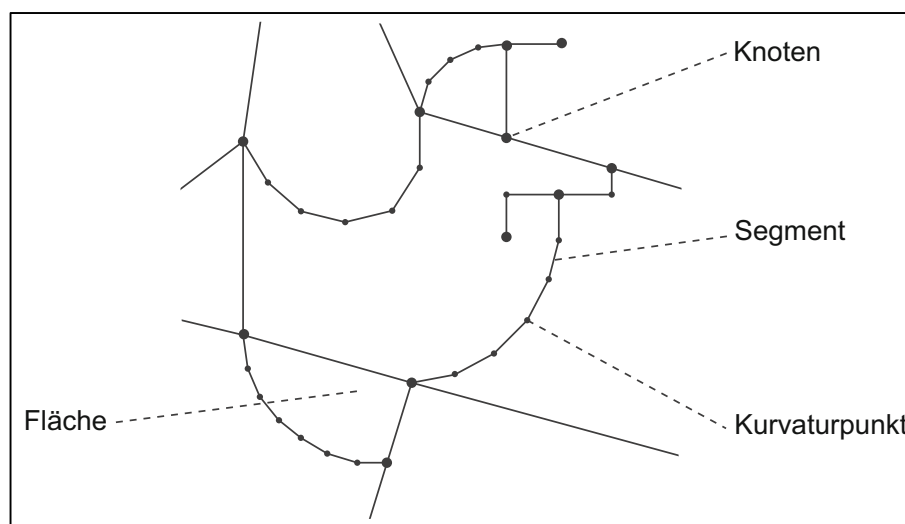


Abbildung 23: Geometrischer Inhalt einer digitalen Karte⁸⁷

Im Falle der Binnenschifffahrt kann das Wasserstraßennetz mit Hilfe von Knoten und Kanten und den nötigen Informationen gespeichert werden. Hierbei ist es notwendig das geometrische Netzwerk in ein topologisches umzuwandeln und in einem sinnvollen Datenformat abzuspeichern.

⁸⁶ vgl. www.wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/55473/datenbank-v12.html (gelesen am: 15.12.2015)

⁸⁷ vgl. Reif K., 2014, S. 172 f.

3.2.3 Routenberechnung

Die eigentliche Routenberechnung ist das Bindeglied zwischen der Benutzereingabe und der Datenbasis und führt die geforderte Berechnung bzw. Routenermittlung aus. Nach Eingabe aller geforderten Parameter ermittelt das Tool unter Einbezug aller Eigenschaften die optimale Route und gibt sie an die Benutzerschnittstelle weiter. Bei der Routenberechnung handelt es sich um die Ermittlung des optimalen Pfades in einem Graphen. Hierbei ist der Graph die topologische Landkarte, welche im System mit Punkten und Kanten gespeichert ist. Die Berechnung erfolgt über einen Algorithmus. Die beiden am häufigsten verwendeten Algorithmen sind hierbei der Dijkstra und der A*.⁸⁸

Der Dijkstra-Algorithmus sucht Schritt für Schritt die kürzeste Route zwischen Start- und Zielpunkt unter Beachtung aller Restriktionen. So wird immer der Knoten gewählt, welcher im betrachteten Zeitpunkt die kürzeste Gesamtstrecke zum Startpunkt aufweist. Dies wird so lange durchgeführt, bis der Zielpunkt erreicht ist oder kein Weg gefunden wurde. Die exakte Funktionsweise des Dijkstra-Algorithmus wird in Kapitel 4.3.2 genauer erläutert.⁸⁹

Der A*-Algorithmus ist ähnlich wie der Dijkstra's Algorithmus, allerdings wird noch eine Schätzfunktion, eine so genannte Heuristik, benötigt. Dadurch sucht der Algorithmus deutlich zielgerichteter und die Laufzeit wird verkürzt. Da der A*-Algorithmus immer alle Möglichkeiten gespeichert hält, wird bei großen Routenberechnungen viel Speicher benötigt. Im Bereich der Routenplanung ist allerdings der Dijkstra's Algorithmus geeigneter, da dieser weniger Speicherplatz benötigt. Aus diesem Grund wird lediglich der Dijkstra's Algorithmus im weiteren Verlauf der Arbeit genauer beschrieben und verwendet.⁸⁷

⁸⁸ vgl. Reif K., 2014, S. 376 f.

⁸⁹ vgl. Weicker K., 2013, S. 212 ff.

3.3 Bestehende Routenplanungstools

Das bekannteste Routenplanungstool für den privaten Gebrauch ist Google-Maps, welches bereits eine Möglichkeit der Verkehrsträgerauswahl erlaubt. Allerdings lediglich Straße, Schiene oder Luft. Streckenplanungstools, welche die Binnenschifffahrt mit einbeziehen sind bei den Routentools selten. Dennoch konnten vier verschiedene Tools gefunden werden, welche alle die Möglichkeit einer Streckenberechnung auf Binnenschifffahrtsstraßen beinhalten. Diese werden nachfolgend kurz vorgestellt, miteinander verglichen und schlussendlich werden weitere sinnvolle Anforderungen für ein neues Routenplanungstool für die Binnenschifffahrt abgeleitet.

3.3.1 Vorstellung von vier Planungstools

Es wurden vier verschiedene Planungstools, mit unterschiedlichen Schwerpunkten analysiert. Dabei sind manche kostenpflichtig und die Eigenschaften konnten lediglich anhand der Beschreibung abgeleitet werden. Die vier Tools sind folgende:

- **EcoTransIT:** Das EcoTransIT-Tool wurde von der europäischen Eisenbahngesellschaft initiiert um die Emissionen des Güterverkehrs beurteilen zu können. Das Tool legt den Schwerpunkt insbesondere auf den Vergleich von Energieverbrauch und von Emissionen bezogen auf das Gewicht der Güter und der verschiedenen Transportmedien. Dabei kann zwischen LKW, Zug, Binnen-, Seeschiff und Flugzeug ausgewählt werden. Das Tool gibt die Distanz zwischen ausgewähltem Start- und Zielpunkt bezogen auf die jeweils gewählten Transportmedien aus. Hierbei erstellt das Tool eigenständig eine Route für den kombinierten Verkehr, falls beispielsweise ein Ort keinen Binnenhafen besitzt, und listet die Strecke bezogen auf das benötigte Transportmedium auf. Das EcoTransIT-Tool legt den Schwerpunkt der Berechnung auf den Energieverbrauch und den Schadstoffausstoß und ist auf www.ecotransit.org frei verfügbar.⁹⁰
- **PC-Navigo:** Dieses Navigationstool für die Binnenschifffahrt wird von der Firma NoorderSoft mit Sitz in Amsterdam entwickelt. Bei PC-Navigo handelt es sich um ein umfangreiches Navigationsprogramm, welches auch eine Routenplanung beinhaltet. Bei Eingabe von Start- und Zielort werden verschiedene Routen angeboten. Diese sind jeweils auf die Maße des betreffenden Schiffes abgestimmt. Neben der Strecke und der vermutlichen Ankunftszeit bzw. Fahrdauer präsentiert das Tool auch noch streckenbezogene Informationen bezüglich der gewählten Route wie Brückenhöhen, Schleuseninformationen usw.. Dieses Tool ist lediglich käuflich erwerblich und besitzt einen großen Funktionsumfang, welcher weit über eine

⁹⁰ vgl. www.ecotransit.org/about.de.html (gelesen am: 11.11.2015)

Streckenplanung hinausgeht. Der Schwerpunkt hierbei liegt bei der Navigation auf Binnenschiffahrtsstraßen.⁹¹

- **Periskal:** Die Periskal-Group, mit Sitz in Wuustwezel – Belgien, hat sich auf Software für Flussinformationen und Navigation auf den europäischen Binnenschiffahrtsstraßen spezialisiert und ist auf vielen Schiffen und Fischerbooten in Europa vertreten. Dabei können verschiedene zusätzliche Tools und Erweiterungen erworben werden. Neben einer Routenplanung ist unter anderem die Navigationsmöglichkeit und die Kostenberechnung eine Erweiterungsoption. Das Tool gibt die Distanz zwischen zwei gewählten Punkten, die erwartete Zeit, die maximalen zugelassenen Maße der Schiffe für die gewählte Route und weitere streckenbezogene Informationen aus. Da diese Software sehr umfangreich ist, ist sie nur kostenpflichtig erhältlich.⁹²
- **Inlandlinks:** Dieses Tool ist auf den Hafen in Rotterdam bezogen und versucht die verschiedenen Möglichkeiten für den Transport vom und zum Hafen aufzuzeigen. Entwickelt wurde das Tool im Auftrag des Hafenbetreibers Rotterdam und der Vereinigung von Inland Terminaloperators. Start- oder Zielpunkt, je nach Richtung, sind immer mit Rotterdam belegt und können nicht verändert werden. Der zweite Punkt kann nach Orten und Containerterminals ausgewählt werden. Als Ergebnis liefert Inlandlinks verschiedene Routenoptionen, welche die Transportmedien Schiene, Straße und Wasserstraßen beinhalten. Zusätzlich wird noch die Gesamtdistanz und, bezogen auf das Transportmedium, die benötigte Zeit berechnet. Zudem können mit dem Tool Inlandterminals und Containerdepots für Leercontainer gesucht werden. Ziel dieses kostenfreien Tools ist die Erhöhung der Transparenz in der Schifffahrtslogistik und das Aufzeigen der Transportmöglichkeiten von Rotterdam ins Inland. Der Schwerpunkt von Inlandlinks liegt demzufolge auf der Routenplanung ausgehend vom Hafen Rotterdam zu den europäischen Inlandhäfen und ist auf www.inlandlinks.eu frei zugänglich.⁹³

Ein Tool ausschließlich für die Routenplanung für die Binnenschifffahrt wurde nicht gefunden. Die vorgestellten Tools beinhalten alle weit mehr Funktionen als eine einfache Routen- bzw. Streckenplanung. Im Vergleich und der Bewertung der Tools wird aber lediglich die Funktion der Routenplanung betrachtet. Die übrigen Funktionen werden außer Acht gelassen und spielen keine weitere Rolle.

⁹¹ vgl. www.pcnavigo.com/de/pc-navigo/pc-navigo-ausfuhrliche-beschreibung/ (gelesen am: 11.11.2015)

⁹² vgl. www.periskal.com/en/river-information-services/solutions-for-logistics (gelesen am: 11.11.2015)

⁹³ vgl. www.inlandlinks.eu/de/zu-inlandlinks (gelesen am: 11.11.2015)

3.3.2 Vergleich der Routenplanungstools

In Tabelle 2 sind die vier Tools nach unterschiedlichen Kriterien bewertet und der jeweilige Schwerpunkt ist aufgelistet.

Tabelle 2: Vergleich bestehender Routenplanungstools

Eigenschaft	Start-/Ziel	Distanz	Dauer	Informations- gehalt	Energie- verbrauch	Routen	Kombinierter Verkehr	Preis	Ausgabe	Schwerpunkt
Tool										
EcoTransit	●	◐	○	○	●	○	●	●	◐	Energie & Emissionen
PC-Navigo	◐	◐	◐	◐	○	●	○	◐	○	Navigation
Periskal	◐	◐	◐	◐	○	○	○	◐	○	Navigation
Inlandlinks	◐	◐	◐	○	◐	○	●	●	○	bezogen auf Rotterdam
Legende	●	Trifft voll und ganz zu	◐	Trifft größtenteils zu	○	Trifft teilweise zu	◐	Trifft kaum zu	○	Trifft gar nicht zu

Die Bewertungskriterien wurden von den Eigenschaften der vier Tools abgeleitet und werden wie folgt definiert:

- **Start-/Ziel:** Wie genau kann der Start-/Zielpunkt ausgewählt werden? Kann jeder Ort benutzt werden oder sind nur ausgewählte Orte z.B. aus einer Drop-Down Liste verfügbar.
Diese Eigenschaft wird von EcoTransit sehr gut erfüllt, da hier jeder beliebige Ort auswählbar ist und keine besondere Infrastruktur vorhanden sein muss. Bei Inlandlinks kann entweder der Start- oder Zielort ausgewählt werden, da Rotterdam immer ausgewählt ist. Bei den anderen beiden Tools ist eine Auswahlmöglichkeit nach Orten mit Binnenhäfen möglich.
- **Distanz:** Wie wird die Strecke zwischen Start- und Zielpunkt ausgegeben? Wird nur die Gesamtstrecke oder auch Teilstrecken bezogen z.B. auf Wasserstraßen oder Transportmedien berechnet?
Die Distanzausgabe ist bei allen vier Tools mehr oder weniger vorhanden. EcoTRANSIT und Inlandlinks bieten zusätzlich eine Aufteilung auf die jeweiligen Verkehrsträger.
- **Dauer:** Besteht die Möglichkeit, eine Durchschnittsgeschwindigkeit anzugeben und dadurch eine Zeit für die Strecke zu berechnen? Lässt sich diese Dauer auch auf die Teilstrecken aufsplitten?
EcoTRANSIT bietet keine Möglichkeit, eine Dauer auszugeben. Die anderen drei Tools jedoch schon.
- **Informationsgehalt:** Wie viele Informationen werden zu der berechneten Strecke geliefert? Hier sind insbesondere die maximal möglichen Maße des Schiffes, Schleusen und so weiter interessant. Je mehr Informationen für eine Route vorliegen, desto transparenter und einfacher wird die Planung.

Informationen bezüglich der berechneten Route geben nur die kostenpflichtigen Tools.

- **Energieverbrauch:** Gibt es Angaben zum voraussichtlichen Energieverbrauch für die berechnete Strecke? Lassen sich aus dem Energieverbrauch Treibstoffverbrauch und Kosten ermitteln?
Da der Energieverbrauch meist eine untergeordnete Rolle spielt, ist diese Möglichkeit auch nur bei einem Tool umfassend (EccoTransit) und bei einem zweiten Tool (Inlandlinks) zu einem geringen Anteil vorhanden.
- **Routen:** Werden verschiedene Routen angeboten? Dies ist insbesondere bei einem Modal Split sinnvoll. Die Binnenschifffahrt bietet lediglich eine geringe Anzahl an alternativen Routen, allerdings lassen sich vor- und nachgelagerte Transportmedien wie LKW und Zug variieren.
Lediglich die Software von PC-Navigo bietet mehrere Routen zur Auswahl an.
- **Kombinierter Verkehr:** Welche Routen werden mit dem Tool berechnet? Lediglich die Strecken auf Binnenstraßen von Hafen zu Hafen oder sind auch andere Orte auswählbar, welche zu einem Modal Split bzw. kombinierten Verkehr führen und hierfür verschiedene Optionen ausgeben? Sind bevorzugte Transportmedien auswählbar?
Ein Modal Split ist bei den kostenfreien Tools EcoTransIT und Inlandlinks möglich. Wobei bei EcoTransIT die jeweiligen Verkehrsmittel vor der Berechnung ausgewählt werden und Inlandlinks mehrere Routenvorschläge mit unterschiedlichen Kombinationen der Transportmedien bietet.
- **Preis:** Ist das Tool frei zugänglich oder kostenpflichtig? Und falls es kostenpflichtig ist, wie viel kostet es? Hier bedeutet „trifft voll und ganz zu“, dass das Tool kostenfrei zur Verfügung steht und „trifft gar nicht zu“, dass das Tool nur käuflich erwerblich ist.
Zwei der Tools sind kostenfrei und zwei kostenpflichtig.
- **Ausgabe:** Wie werden die berechneten Informationen ausgegeben? Lediglich in dem Tool-eigenen Format oder besteht eine Möglichkeit die Daten in Form von einem PDF oder einer Excel-Liste zu exportieren.
Nur mit EcoTransIT lassen sich die berechneten Routen in Form eines PDF exportieren. Die anderen Tools bieten so etwas nicht an oder es ist keine Exportmöglichkeit bekannt.
- **Schwerpunkt:** Welcher Schwerpunkt wird in dem betrachteten Tool gesetzt?

Je nach Schwerpunkt eines Tools gibt es unterschiedliche Funktionen und Eigenschaften. In dem neu entwickelten Routenplanungstool sollen die optimalsten Funktionen zusammengeführt werden.

3.3.3 Ableitung weiterer Anforderungen

Aus dem Vergleich in Tabelle 2 lassen sich weitere Anforderungen für ein neues Routenplanungstool für die Binnenschifffahrt ableiten. Anhand der geforderten Funktionen, Eigenschaften der vier betrachteten Tools und weitere, sinnvollen Berechnungsmöglichkeiten wird ein Anforderungskatalog erstellt. Dieser ist in drei Bereiche unterteilt:

- **Basisfunktionen:** Funktionen, welche das Tool auf jeden Fall erfüllen muss und vorgegeben sind:
 - Auswahl des Starthafens
 - Auswahl des Zielhafens
 - Distanz zwischen Start- und Zielhafen
 - Befahrene Flüsse und jeweilige Wasserstraßenklassen
 - Transportzeit
 - Anzahl der Schleusen
 - Ausgabe im Excel Format
- **Erweiterte Funktionen:** Funktionen, welche leicht umsetzbar sind und einen größeren Informationsgehalt über die berechnete Route liefern können:
 - Wasserklassen bezogen auf die jeweiligen Flüsse
 - Distanzen bezogen auf die jeweiligen Flüsse
 - Transportzeiten bezogen auf die jeweiligen Flüsse
 - Schleusenanzahl bezogen auf die jeweiligen Flüsse
 - Schleusendauer
 - Energie bzw. Treibstoffverbrauch, Emissionen
 - Transportkosten
- **Umfangreiche Funktionen:** Diese Funktionen ermöglichen eine sehr breite Verwendung des Routenplanungstools im Bereich der Transportlogistik, sind aber bei der Umsetzung mit mehr Aufwand verbunden:
 - Auswahl eines Startortes, dieser muss kein Hafen sein
 - Auswahl eines Zielortes, dieser muss kein Hafen sein
 - Kombiniertes Verkehr: Auswahl des Transportgutes um dementsprechend eine optimale Route zu berechnen. Kombination der Verkehrsträger je nach Optimierungsschwerpunkt.
 - Mehrere Routen zur Auswahl

Je nach Bedarf und Umfang des Tools können noch weitere Funktionen implementiert werden.

4 Routenplanungstool für Binnenschifffahrt

Im vierten Abschnitt „Routenplanungstool für Binnenschifffahrt“ wird auf die Lösungsfindung, Programmierung, den Aufbau und die Handhabung des Routenplanungstools genauer eingegangen. Hierfür werden zunächst einige Grundlagen wie die Anforderungen an das Tool, verwendete Programmiersprache und die Problemlösung für die Aufgabenstellung erläutert. Anschließend wird detaillierter auf den Aufbau des Makros und die Umsetzung anhand einer Beispielroute eingegangen. Schlussendlich werden die Vorteile im Vergleich zu anderen bereits bestehenden Tools erläutert und mögliche Weiterentwicklungen für das Routenplanungstool aufgelistet.

4.1 Anforderungen an das Routenplanungstool

Für ein besseres Verständnis werden nachfolgend nochmals die Mindestanforderungen laut Aufgabenstellung an das Routenplanungstool ausführlich beschrieben. Diese dienen als Grundlage für die Entwicklung des Routenplanungstools.

Nach Auswahl eines Start- und Zielhafens soll das Routenplanungstool verschiedene, routenbezogene Daten in einer Excel Tabelle ausgeben. Für die Berechnung der gesamten Transportzeit ist die Eingabe einer Durchschnittsgeschwindigkeit nötig.

Als Ergebnis soll das Routenplanungstool in jedem Fall folgende Daten ausgeben: Die Flüsse, welche befahren werden, um vom Start- zum Zielhafen zu gelangen und die jeweiligen Wasserstraßenklassen auf den einzelnen Flussabschnitten. Die gesamte Strecke und jeweils die Strecke bezogen auf die befahrenen Flüsse. Des Weiteren soll die gesamte Transportzeit in Stunden und die Anzahl der Schleusen zwischen Start- und Zielhafen ausgeben werden.

Das Routenplanungstool soll in Microsoft Excel erstellt werden, damit die berechneten Ergebnisse direkt im Excel-Tabellen Format verwendet werden können. Die Datenbank des Routenplanungstools soll flexibel erweiterbar bzw. abänderbar sein, um nachträgliche Veränderungen und Erweiterungen leicht handhaben zu können. Neben den Hauptanforderungen kann das Excel Tool mit weiteren sinnvollen Funktionen beliebig erweitert werden.

Innerhalb des Routenplanungstools sollen alle bedeutenden europäischen Binnenhäfen ausgewählt werden können. Die nötigen Informationen wie eine Liste der Häfen, Distanzen und Anzahl der Schleusen kann z.B. aus dem „INVENTORY OF MAIN STANDARDS AND PARAMETERS OF THE E WATERWAY NETWORK -

Blue Book“ der Economic Commission for Europe entnommen werden. Dabei handelt es sich um die zweite Auflage des „Blue Book“ aus dem Jahr 2011. Dies ist eine Auflistung aller bestehenden und bedeutenden Binnenschifffahrtsstraßen in Europa mit verschiedenen Parametern wie Wasserstraßenklasse, Schleusen, Brücken usw.. Das Werk wird von der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) herausgegeben. UNECE besteht aus 56 Ländern aus Europa, Asien und Amerika, welche Konventionen, Normen und Standards insbesondere im Bezug auf die Wirtschaft ausarbeiten. Diese Zusammenarbeit betrifft Ökonomie, Umwelt, Verkehr, Handel, nachhaltige Energie, Holz und Lebensraum. Zusätzlich können auch noch weitere Quellen für die Streckeninformationen verwendet werden.⁹⁴

4.2 Programmiersprache

In der Aufgabenstellung ist gefordert, dass das Routenplanungstool mit Hilfe von Microsoft Office Excel erstellt werden soll, damit die Ergebnisse im Excel-Format vorliegen und direkt innerhalb Excel und anderen Microsoft Office Produkten weiterverwendet werden können. Innerhalb des Programmes Excel gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten, die Problemstellung zu lösen.

Zum einen können einzelne Zellen, Tabellen und Blätter mit Hilfe von Formeln so miteinander verknüpft werden, dass das geforderte Ergebnis berechnet wird und in Tabellenform ausgegeben wird. Dies ist aber nur bei kleinen Problemstellungen sinnvoll, da die Verknüpfung mit Formeln sehr schnell unübersichtlich und komplex wird. Die Implementierung eines Algorithmus in Excel lediglich mit Formeln ist sehr aufwendig und fehleranfällig. Des Weiteren würde bei einem so umfangreichen Routenplanungstool die benötigte Rechenzeit und der Speicherplatzbedarf enorm ansteigen.⁹⁵

Die zweite Möglichkeit innerhalb Excel ist die Verwendung von Visual Basic for Applications (VBA). VBA ist die vereinfachte Form von Visual Basic (VB), welche Microsoft als einheitliche Makrosprache für die Office Produkte entwickelt hat und verwendet. VBA ist eine objektbezogene Programmiersprache und wird in verschiedenen Anwendungen in Microsoft Office wie z.B. Excel, Word oder Access verwendet. Mit Hilfe von VBA können objektbezogene Makros programmiert werden und dadurch Excel oder andere Office Produkte an die Anforderungen des Benutzers angepasst werden.⁹⁶

Durch die Verwendung von VBA können diverse Problemstellungen in Excel erst gelöst und manche Probleme deutlich schneller bearbeitet werden als mit den

⁹⁴ vgl. www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2012/sc3wp3/ECE-TRANS-SC3-144rev2e.pdf (gelesen am: 10.11.2015)

⁹⁵ vgl. www.businessdictionary.com/definition/Microsoft-Excel.html (gelesen am: 24.10.2015)

⁹⁶ vgl. www.itwissen.info/definition/lexikon/visual-basic-for-applications-VBA.html (gelesen am: 10.11.2015)

Standartfunktionen von Excel. Dabei werden Makros verwendet, welche eine Aneinanderreihung von Anweisungen darstellen. Durch diese Anweisungen werden in Excel Funktionen Schritt für Schritt ausgeführt. Mit der Verwendung von Variablen innerhalb eines Makros können die Anweisungen mit verschiedenen Parametern immer wieder neu durchlaufen werden. Dadurch ist der Programmier- und Speicherplatzaufwand deutlich geringer als bei der Bearbeitung mit herkömmlichen Excel-Formeln und Verknüpfungen. Ein erfahrener Programmierer kann Problemstellungen mit Hilfe von VBA deutlich schneller lösen als ohne, da der Programmier- und Schreibaufwand deutlich geringer ist. Auch bei Problemstellungen und Abläufen, welche sich immer wiederholen, reduziert die einmalige Programmierung eines Makros den Aufwand enorm.^{97, 98}

Durch die deutlich größere Flexibilität bei komplexen Problemstellungen wird für dieses Routenplanungstool für die Binnenschifffahrt die Programmiersprache VBA verwendet. Da die Befehle in VBA durch Schleifen mehrfach verwendet werden, sinkt die Datenmenge, der Rechenbedarf und letztendlich auch der Programmieraufwand. Mit der Verwendung von VBA anstatt der direkten Funktionen im Excel-Sheet wird das Programm deutlich übersichtlicher und durch die geringere Datenmenge auch weniger Anfällig gegenüber Fehlern. Als Datenbank werden herkömmliche Excel Tabellen auf verschiedenen Excel-Blättern verwendet, auf welche das Makro zugreifen und die nötig Informationen abrufen kann. Der Aufbau des Makros und die Funktionsweise dieses ist in Kapitel 4.4 detailliert beschrieben. Im Anhang ist der VBA-Code des Tools hinterlegt.

⁹⁷ vgl. Theis T., 2014, S.17. f

⁹⁸ vgl. www.itwissen.info/definition/lexikon/Makro-macro.html (gelesen am: 24.10.2015)

4.3 Problemlösung

In diesem Abschnitt wird der Lösungsansatz erläutert. Die Umsetzung dieser Lösungsidee und Funktionsweise des Makros steht in Kapitel 4.4 und wird anhand eines konkreten Beispiels erläutert.

Das Binnenschifffahrtsnetzwerk besteht aus Häfen, Flussabzweigungen und den Distanzen zwischen diesen Punkten. Als Grundlage für die Berechnung der kürzesten Strecke zwischen einem Start- und Zielpunkt dient eine Excel-Liste, welche auf Basis des Blue Book erstellt wurde. Ein Ausschnitt hiervon ist in Abbildung 24 zu sehen. Das Wasserstraßennetz wurde in viele zusammenhängende Teilstrecken, so genannte Routen, aufgeteilt, welche wiederum aus einer Auflistung von benachbarten Häfen bzw. Flussabzweigungen bestehen. Es sind jeweils die Distanzen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Streckenpunkten, also den Teilstrecken, und die inkrementelle Strecke, bezogen auf eine Route, angegeben. Die Strecke zwischen Start- und Zielpunkt setzt sich demzufolge aus der Summe der einzelnen Teilstrecken zwischen den gewählten Start- und Zielpunkten zusammen.⁹⁹

Route Nr.	Land	Fluss	Position (BB)	Absolute Strecke	Inkrementale	Hafen
Route 1	Niederlande	Nieuwe Maas	1002,5	0,0	0,0	Rotterdam
Route 1	Niederlande	Noord	981,1	21,4	21,4	Alblasserdam
Route 1	Niederlande	Merwede / S	956,0	46,5	25,1	Gorinchem
Route 2	Niederlande	Merwede / S	956,0	0	0,0	Gorinchem
Route 2	Niederlande	Waal	935,0	21,0	21,0	Zaltbommel
Route 2	Niederlande	Waal / Amste	914,6	41,4	20,4	Tiel
Route 3	Niederlande	Waal / Amste	914,6	0	0,0	Tiel
Route 3	Niederlande	Waal / Maas	888,6	26,0	26,0	Nijmegen
Route 4	Niederlande	Waal / Maas	888,6	0	0,0	Nijmegen
Route 4	Deutschland	Rhein	852,0	36,6	36,6	Emmerich
Route 4	Deutschland	Rhein / Wese	814,0	74,6	38,0	Wesel
Route 5	Deutschland	Rhein / Wese	814,0	0	0,0	Wesel
Route 5	Deutschland	Rhein	806,0	8,0	8,0	Rheinberg-Ossenberg
Route 5	Deutschland	Rhein	794,0	20,0	12,0	Orsoy
Route 5	Deutschland	Rhein	793,0	21,0	1,0	Walsum-Nordhafen
Route 5	Deutschland	Rhein	791,0	23,0	2,0	Walsum-Sud
Route 5	Deutschland	Rhein	790,0	24,0	1,0	Schwegern
Route 5	Deutschland	Rhein	774,0	40,0	16,0	Homberg, Sachtleben
Route 5	Deutschland	Rhein / Rheir	774,0	40,0	0,0	Duisburg-Ruhrort Häfen

Abbildung 24: Teilstreckenliste – Ausschnitt⁹⁹

Das VBA-Makro muss folglich, ausgehend vom Startpunkt, so lange eine Abfrage erstellen, bis der Zielpunkt erreicht ist und die Teilstrecken zu einer Gesamtsumme addieren. Bei Flussabzweigungen muss das Makro in der Lage sein, den korrekten bzw. kürzesten Weg zum Ziel zu bestimmen. Aus dieser ersten Anforderung an das

⁹⁹ vgl. Datenbank Fraunhofer Austria, 15.03.2015

Makro lässt sich das Problem des kürzesten Pfades aus der Graphentheorie ableiten, welches in nachfolgendem Abschnitt genauer erläutert wird.

4.3.1 Kürzester-Pfad-Problem

Das Kürzeste-Pfad-Problem stammt aus der Graphentheorie. Ein Netzwerk besteht demzufolge aus Punkten welche durch Kanten verschiedener Längen miteinander verbunden sind. In der Routenplanung nennt man die Kanten Jordansche Kurven. Diese sind stetig und kreuzen sich nie selber. Es liegt ein ungerichteter Graph vor, da das Befahren jeweils in beide Richtung möglich ist und sich die Distanzen dabei nicht verändern. Bei einem Routenplanungstool für die Binnenschifffahrt sind die Punkte des Graphen die Häfen bzw. die Flussabzweigungen und die Kanten die Strecken zwischen zwei benachbarten Punkten.¹⁰⁰

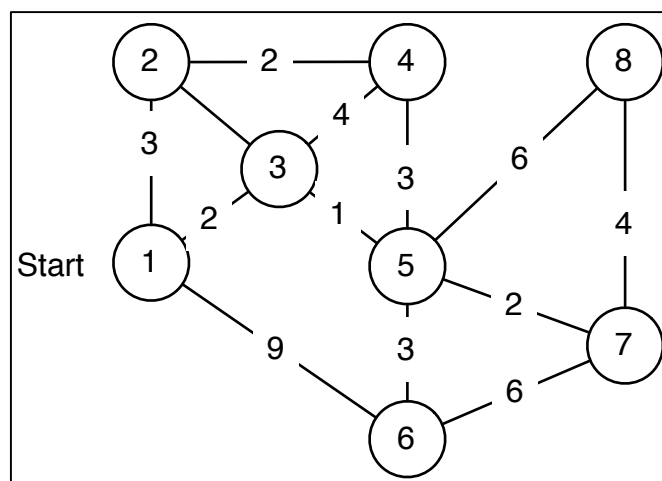


Abbildung 25: Kürzester-Weg Prinzip

In Abbildung 25 ist das Grundprinzip eines solchen ebenen Graphen abgebildet. Die Aufgabe des Makros ist es nun, hieraus den kürzesten Weg zwischen beispielsweise dem Punkt 1 als Startpunkt und dem Punkt 8 als Zielpunkt zu ermitteln. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten.

Einerseits kann der kürzeste Weg nach dem Prinzip „Trial-and-Error“ ermittelt werden, in dem alle möglichen Streckenkombinationen berechnet werden und die Gesamtdistanzen miteinander verglichen werden. Diese Lösungsmöglichkeit benötigt insbesondere bei größeren Streckennetzwerken wie im Falle des europäischen Wasserstraßennetzes viel Rechenzeit und wird deswegen nicht weiter betrachtet. Eine zweite Möglichkeit ist die Anwendung eines Algorithmus, welcher eine schrittweise Lösungsfindung durchführt, und nur eine einzige, optimale Lösung mit der kürzesten Distanz liefert. Der verwendete Algorithmus für die Problemlösung des Kürzesten Weges wird in Kapitel 4.3.2 beschrieben.

¹⁰⁰ vgl. Aigner M., 2015, S. 5

Der Graph des Europäischen Wasserstraßennetzwerkes sieht deutlich anders aus, als der Ausschnitt in Abbildung 25, da sich die Wasserstraßen nur selten abzweigen. Folglich liegt in den meisten Fällen nur ein potentieller Nachbarpunkt vor. Da es aber dennoch Abzweigungen und auch Wasserstraßenkreuze gibt, ist es praktikabel das Prinzip des Kürzesten Weges und einen dem entsprechenden Algorithmus zu verwenden.

Sobald die kürzeste Strecke zwischen Start- und Zielpunkt ermittelt wurde, ist die Reihenfolge der einzelnen Punkte bzw. die Abfolge der Häfen bis zum Ziel bekannt. Nun können die Kantenlängen durch andere Informationen ersetzt werden und anhand der Reihenfolge der Punkte der kürzesten Strecke andere streckenbezogene Informationen ermittelt werden. Auf diesen Weg können die übrigen Details wie Wasserstraßenklassen, Flussnamen und Schleusenanzahl berechnet werden.

Damit der Algorithmus auf die vorhandenen Daten des Netzwerkes zugreifen kann, ist es notwendig, die Excel Tabelle mit den Häfen und Flussabzweigungen in einen „Graphen“ zu transferieren. Die Kanten werden hierbei mit mehreren Informationen belegt. Es sollen Daten wie Strecken, Wasserstraßenklassen, Flussname oder Schleusenanzahl je Kante bzw. zwischen zwei Punkten gespeichert werden. Aufgabe des Makros ist es, anhand der Informationen des Graphen die gewünschten routenbezogenen Informationen zu berechnen. Die Lösung und Umsetzung hierfür ist in Kapitel 4.3.3 beschrieben.

4.3.2 Dijkstra's Algorithmus

Die Anwendung des Dijkstra's Algorithmus führt bei dem in Kapitel 4.3.1 beschriebenen Problem des Kürzesten Wegs zu einer optimalen Lösung. Die Idee dieses Algorithmus wurde von dem gleichnamigen Informatiker und Mathematiker Edsger W. Dijkstra im Jahre 1959 unter dem Titel „A Note on Two Problems in Connexion with Graphs“ veröffentlicht.¹⁰¹

Bei diesem Algorithmus wird das Ergebnis Schritt für Schritt aufgebaut und ein Punkt nie mehrmals betrachtet. Hierfür wird ausgehend von den vorhandenen Informationen immer das aktuell beste Ergebnis gewählt. Die neue Information dient dann wiederum als Ausgang für die nächste Entscheidung und so weiter bis der Zielpunkt erreicht ist. Folglich versucht der Algorithmus bei jeder Entscheidung gierig das beste Ergebnis zu liefern. In diesem Fall wird also immer die kürzeste Strecke ausgehend vom aktuell betrachteten Punkt zum Startpunkt ermittelt.¹⁰²

Aus der Originalschrift von Dijkstra und den vielen weiteren Literaturen lässt sich der Ablauf des Algorithmus in verbaler Form ableiten. Dieser besteht aus zwei

¹⁰¹ vgl. Dijkstra E. W., 1959, S. 269 ff.

¹⁰² vgl. Weicker K., Weicker N., 2013, S. 117 f

wesentlichen Schritten, wobei sich der zweite Schritt so lange wiederholt, bis der Zielpunkt erreicht ist. Von diesem Ablauf lässt sich im Anschluss auch der Pseudocode, welcher die Rohform des Programmes darstellt, für das Makro in VBA ableiten. Nachfolgend ist dieser Ablauf des Algorithmus in verbaler Form dargestellt:

Dijkstra's Algorithmus

1. Knoten initialisieren

- *Jedem Knoten die Eigenschaften „Distanz“, „Vorgänger“ und „Besucht“ zuweisen*
- *„Distanz“ aller Knoten auf Unendlich setzen*
- *„Distanz“ des Startknoten auf „0“ setzen*
- *„Besucht“ aller Knoten auf „Nein“ setzen*
- *„Vorgänger“ aller Knoten auf „0“ setzen*

2. Solange noch unbesuchte Knoten vorhanden sind und das Ziel nicht erreicht ist:

- *Wähle Knoten mit dem aktuell kleinsten Gesamtabstand zum Startpunkt*
- *Setze Knoten als „besucht“*
- *Aktualisiere aktuell kürzeste Distanz zum Startpunkt*
- *Setze aktuellen Knoten als „Vorgänger“*

3. Schritt zwei so lange wiederholen, bis der Zielknoten erreicht wird.

Das Prinzip und die Funktionsweise des Algorithmus werden an einem kleinen Kürzesten-Weg-Problem erklärt. Hierbei soll der kürzeste Weg von Wien nach München ermittelt werden. Die Funktionsweise des Dijkstra's Algorithmus wird nachfolgend Schritt für Schritt erläutert. Dabei sind die Knoten die unterschiedlichen Städte zwischen Wien und München und die Kantenlängen die jeweiligen Strecken zwischen den Knoten. In der Binnenschifffahrt sind die Knoten dementsprechend die einzelnen Häfen und die Kantenlängen die Distanzen zwischen den Häfen. Die Abbildungen werden jeweils von dem darunterliegenden Textabschnitt beschrieben.

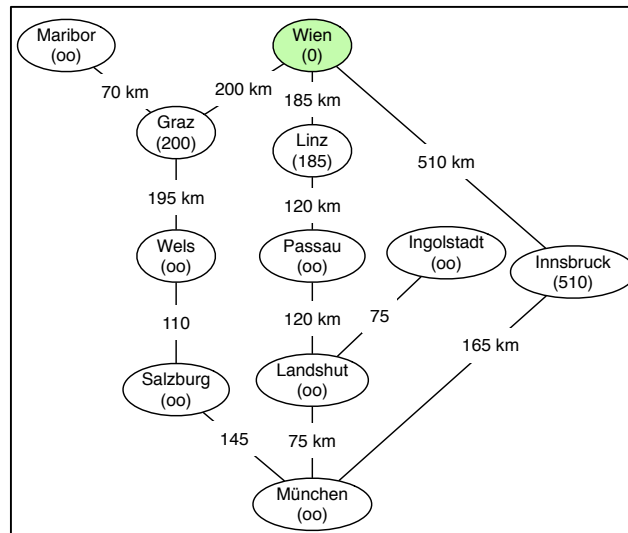


Abbildung 26: Kürzester-Weg-Beispiel 1

Dem Startpunkt „Wien“ wird die Strecke „0“ zugewiesen, bei den restlichen Punkten wird die Strecke auf „unendlich“ gesetzt. Den benachbarten Punkten zum aktuell betrachteten Startpunkt werden die jeweiligen Distanzen zum Startpunkt zugeordnet. Die benachbarten Orte zum Startpunkt Wien sind Innsbruck mit 510 km, Linz mit 185 km und Graz mit 200 km. Folglich ist Linz mit 185 km die am nächsten gelegene Stadt von diesen drei betrachteten.

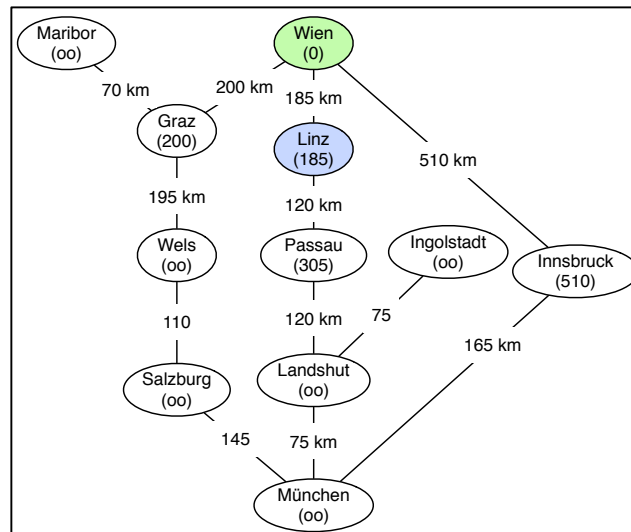


Abbildung 27: Kürzester-Weg Beispiel 2

Der Punkt Linz mit der aktuell kürzesten Distanz zum Startort Wien wird ausgewählt. Ausgehend von diesem werden die Gesamtdistanzen der benachbarten Punkte zum Startpunkt berechnet. Dieser ist lediglich Passau mit 305 km. Als Vorgänger von dem Punkt „Linz“ wird „Wien“ gesetzt. Nun wird wieder der Knotenpunkt mit der aktuell kürzesten Distanz zum Startpunkt „Wien“ gesucht.

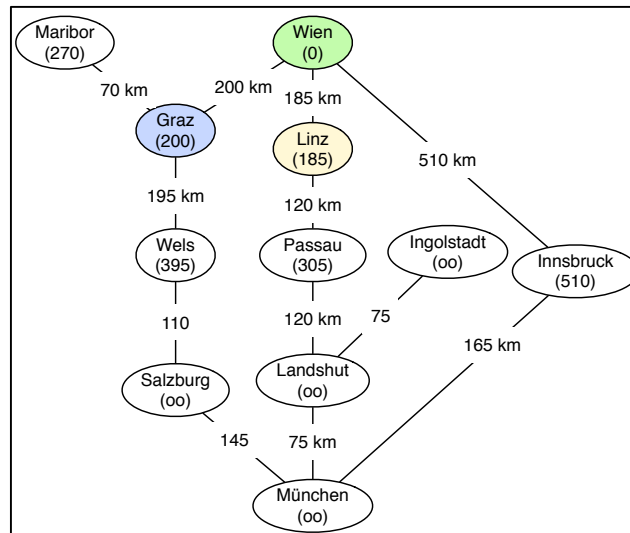


Abbildung 28: Kürzester-Weg Beispiel 3

Der Punkt mit der kürzesten Distanz zum Startknoten ist jetzt Graz mit 200 km. Linz wird als „besucht“ gesetzt und die neuen Distanzen zu den benachbarten Punkten von Graz werden berechnet. Diese sind Maribor mit 270 km und Wels mit 395 km. Als Vorgänger von Graz wird Wien gesetzt.

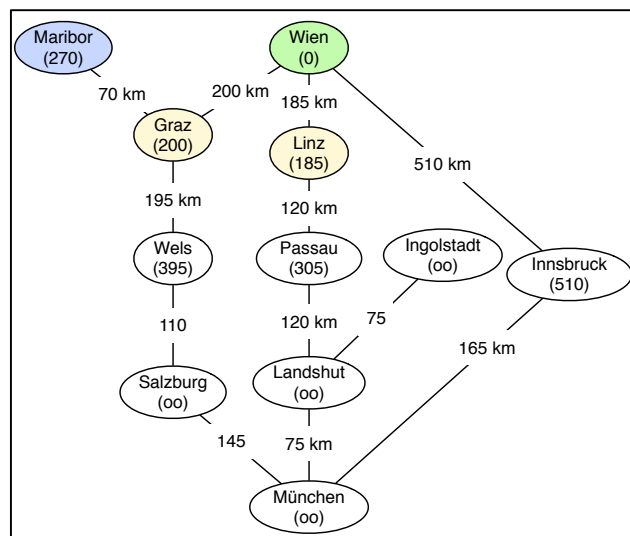


Abbildung 29: Kürzester-Weg Beispiel 4

Maribor ist der nächste Punkt mit der kürzesten Gesamtdistanz zu Wien. Graz wird als „besucht“ markiert. Allerdings hat Maribor keine weiteren Nachbarpunkte. Diese Richtung liefert kein Ergebnis und wird deswegen verworfen. In einem nächsten Schritt wird der Punkt mit der zweit kürzesten Distanz ausgewählt. In diesem Fall ist das Passau mit 305 km Gesamtstrecke.

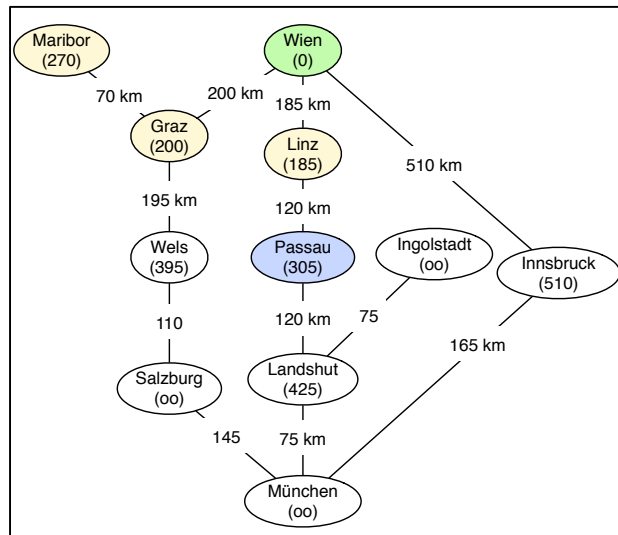


Abbildung 30: Kürzester-Weg Beispiel 5

Als nächster Punkt wird Passau betrachtet. Maribor wird als „besucht“ gesetzt und die aktuellen Gesamtdistanzen der benachbarten Punkte werden berechnet. Der Vorgänger von Passau ist Linz und wird dementsprechend abgespeichert. Als benachbarter Punkt ergibt sich Landshut mit 425 km. Mit einer Gesamtstrecke von 395 km ist Wels der Punkt mit der aktuell kürzesten Gesamtdistanz, welcher als nächstes betrachtet wird.

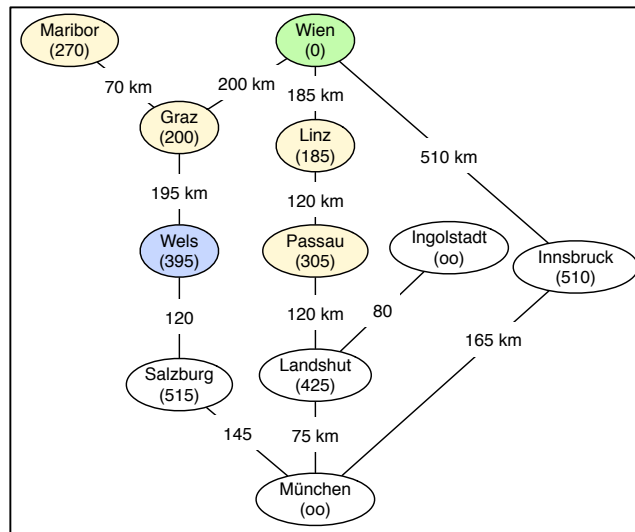


Abbildung 31: Kürzester-Weg Beispiel 6

Passau wird als „besucht“ gesetzt und als Vorgänger von Wels wird Graz abgespeichert. Der nächste benachbarte Punkt von Wels ist Salzburg mit einer Gesamtdistanz von 515 km. Der aktuell kürzeste Knotenpunkt zum Startknotenpunkt ist Landshut mit 425 km.

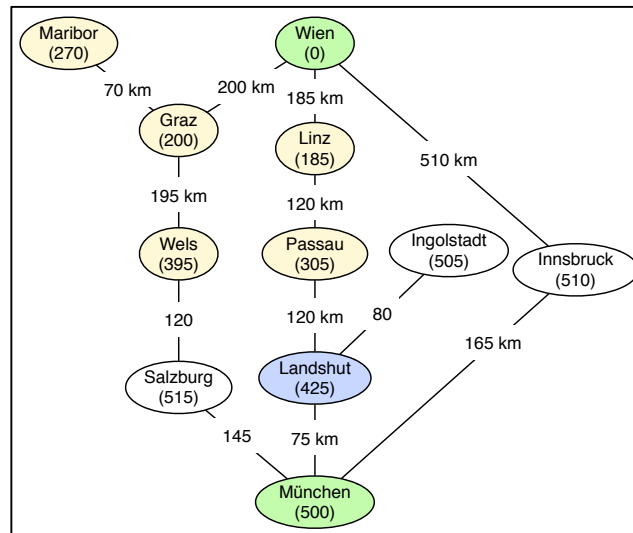


Abbildung 32: Kürzester-Weg Beispiel 7

Wels wird als „besucht“ gesetzt. Von Landshut aus erreicht man im nächsten Schritt mit der kürzesten Gesamtstrecke München als Zielpunkt. Hiermit ist die kürzeste Strecke mit Hilfe des Algorithmus ermittelt. Die kürzeste Strecke von Wien nach München ist demnach: Wien – Linz – Passau – Landshut – München mit einer Gesamtstrecke von 500 km.

Die Informationen über die Punkte und Kanten des Graphen, welcher das europäische Wasserstraßennetz darstellt, müssen in eine geeignete Form gebracht werden, damit sie vom Algorithmus erfasst und verwendet werden können. Hierfür eignet sich eine Matrix, wie sie im nachfolgenden Kapitel beschrieben ist.

4.3.3 Distanzmatrix

Mit Hilfe einer Distanzmatrix können Entfernungen zwischen zwei Punkten festgelegt und wieder abgerufen werden. Hierbei kann die Entfernung in beide Richtungen gleich sein oder aber auch unterschiedlich.

	Wien	Graz	Wels	Salzburg	Landshut	Passau	Linz	Ingolstadt	Innsbruck	Maribor	München
Wien		200 km					185 km	510 km			
Graz	200 km		395 km							70 km	
Wels		395 km		120 km							
Salzburg			120 km								125 km
Landshut						120 km		80 km			75 km
Passau					120 km		120 km				
Linz	185 km					120 km					
Ingolstadt	510 km				80 km						
Innsbruck											165 km
Maribor		70 km									
München				125 km	75 km				165 km		

Abbildung 33: Distanzmatrix

Die Distanzmatrix kann aus der Excel-Liste der Entfernungen zwischen den einzelnen Häfen abgeleitet werden. Der Algorithmus kann dann mit Hilfe dieser Matrix nach dem beschriebenen Schema den kürzesten Weg zwischen Start- und Zielhafen berechnen. Dabei ersetzt die Matrix den Graphen und die Informationen können übersichtlich abgespeichert werden. Die Städte bzw. Punkte des Graphen werden jeweils links seitlich bzw. am oberen Rand der Matrix aufgelistet und die Reihenfolge der Städte ist jeweils identisch. Die Distanzen bzw. Kantenlängen sind in Abbildung 33 bräunlich hinterlegt. Hierbei wird jeweils die Distanz zwischen zwei Orten angegeben. Beispielsweise liegen Passau und Linz 120 km auseinander. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Strecke von Passau aus gestartet wird oder von Linz aus. Die Distanz bleibt immer gleich.

Der Dijkstra's Algorithmus ermittelt anhand der Distanz und nach dem in Kapitel 4.3.2 beschriebenen Verfahren die Reihenfolge der Knotenpunkte welche auf dem kürzesten Wege ans Ziel führen. Neben den Strecken zwischen zwei benachbarten Orten können auch noch weitere Informationen als „Kantenlänge“ abgespeichert werden. Mit Hilfe der ermittelten Reihenfolge und den Kanteninformationen können dann routenspezifische Daten ermittelt werden. Die Umsetzung davon ist in nachfolgendem Kapitel 4.4 erläutert.

4.4 Aufbau und Funktion des Routenplanungstools

Das Routenplanungstool ist in zwei große Ebenen unterteilt. Zum einen die Excel-Sheets und damit Verbunden die benötigten Daten und zum anderen das Makro, welches zur Berechnung der gewünschten Daten nötig ist. In Abbildung 34 sind die beiden Ebenen mit den jeweiligen Unterebenen abgebildet, welche nachfolgend detaillierter erläutert werden.



Abbildung 34: Aufbau Routenplanungstool

4.4.1 Excel-Sheet Ebene

Die Excel-Sheet Ebene beinhaltet einerseits ein Sheet zur Eingabe der Parameter und Ausgabe der berechneten Informationen und andererseits weitere Blätter für verschiedene Daten, welche das Makro zur Ermittlung der Routeninformationen benötigt.

Das in Abbildung 35 abgebildete Excel-Sheet ist bei Programmstart zu sehen und dient der Bedienung des Makros. In der linken Tabelle „Parameterauswahl“ können Start- und Zielhafen ausgewählt werden. Weitere nötige Parameter wie die Durchschnittsgeschwindigkeit, die Dauer pro Schleusenvorgang und eventuelle sonstige Wartezeit können ebenfalls angegeben werden. Durch das Klicken auf den Button „Berechnung starten!“ wird nach ein paar Sekunden unter der Tabelle

„Routeninformation“ das gewünschte Ergebnis ausgegeben. Die Funktionsweise des Makros wird in Kapitel 4.4.2 anhand eines Beispiels Schritt für Schritt erläutert.

Paramterauswahl		Routeninformation
Starthafen	Österreich	Wien
Zielhafen	Niederlande	Rotterdam
Parameter:		
Geschwindigkeit in km/h		20,0
Dauer pro Schleusung in [min]		30
Sonstige Wartezeiten in [hh]		2
Berechnung starten!		

Abbildung 35: User-Form des Routenplanungstools

Neben dem Excel-Sheet „User-Form“ gibt es noch sechs weitere Sheets. Fünf davon sind Quadratische Matrizen mit unterschiedlichem Informationsgehalt. Diese Matrizen beinhalten sämtliche Kanteninformationen zwischen zwei, miteinander verbundenen Punkten bzw. Häfen und werden für die Berechnung der geforderten Ergebnisse benötigt. In Abbildung 36 ist ein kleiner Ausschnitt einer solchen quadratischen Matrix abgebildet. Auf der x- bzw. y-Achse sind jeweils die vorhandenen Häfen und Knotenpunkte (gelb markiert) der Binnenschifffahrtsstraßen in identischer Reihenfolge aufgelistet. Die lila hinterlegten Zellen beinhalten die Kantenlänge bzw. Strecke zwischen zwei benachbarten und direkt zusammenhängenden Häfen. Diese werden an der Diagonale der Matrix (bräunliche Einfärbung) gespiegelt, da die Kantenlänge in beide Richtungen identisch ist und die Fahrtrichtung im Routenplanungstool keine Rolle spielen soll. So liegen beispielsweise Hamburg und Lauenburg (rote Markierung in Abbildung 36) 60,5 km auseinander. Fährt man von Lauenburg nach Hamburg (grüne Markierung in Abbildung 36) beträgt die Distanz ebenfalls 60,5 km.

Neben der Distanzmatrix mit den Kantenlängen gibt es noch weitere Matrizen, welche identisch aufgebaut sind, mit Informationen bezüglich der jeweils befahrenen Flüsse, der Wasserstraßenklassen, der Anzahl der Schleusen je Kante und die Fließrichtung des befahrenen Flusses. Die Matrizen sind deutlich größer als die hier abgebildeten Ausschnitte und enthalten insgesamt 282 Häfen bzw. Knotenpunkte und die jeweiligen Beziehungen bzw. Kanteninformationen zwischen den einzelnen Punkten. Die gelb markierten Häfen bzw. Punkte bilden Abzweigungen oder Kreuzungen und es gibt mehr als eine Verbindung zu bzw. von diesen Punkten.

0	33	33	33	12	13	13	13	14	14	14	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	18	
D_ij	Kiel	Ren	Bru	Cuxh	Bütz	Ham	Lauen	Tange	Rogä	Fluss	Mag	Schö	Fluss	Aken	Torga	Müh	Ries	Dres	Děčí	Ústí	Mel	Týne	Pard	Miřej	
33 Kiel		34,0																							
33 Rendsburg	34,0		58,5																						
33 Brunsbüttel		58,5		31,0	25,0																				
12 Cuxhaven			31,0																						
13 Bützfleet			25,0																						
13 Hamburg					39,5																				
13 Lauenburg						60,5																			
14 Tangermünde							60,5	180,0																	
14 Rogätz Kieswerk								180,0	34,0																
14 Flusszweig Elbe/Mittellandkanal									34,0	10,0															
15 Magdeburger Häfen										12,5															
15 Schönebeck										12,5	16,5														
15 Flusszweig Elbe/Saale											16,5	23,0													
16 Aken												23,0	15,0												
16 Torgau													15,0	123,0											
16 Mühlberg Kieswerk														123,0	29,0										
16 Riesa															29,0	16,0									
16 Dresden																16,0	50,0								
16 Děčín																	50,0	71,2							
16 Ústí nad Labem																		71,2	24,5						
16 Melnik																			71,2	24,5	71,7				
17 Týnec nad Labem (Chvaletice)																				71,7	99,3	18,9			
17 Pardubice																					99,3	27,7			
18 Měejovice																						27,7			
																							18,9		

Abbildung 36: Distanzmatrix

In Abbildung 37 ist ein Ausschnitt der Flussmatrix zu erkennen. Hier beinhalten die Kanteninformationen die Flüsse zwischen zwei benachbarten Punkten. Beispielsweise wird auf dem Weg von Hamburg nach Lauenburg die Elbe befahren. Mit Hilfe dieser Matrix können dann alle befahrenen Flüsse ermittelt werden und im Berechnungsergebnis ausgegeben werden.

0	33	33	33	12	13	13	13	14	14	14	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	18
D_ij	Kiel	Ren	Bru	Cux	Bütz	Ham	Lau	Tan	Rog	Flus	Mag	Sch	Flus	Ake	Torg	Müh	Ries	Dres	Deci	Usti	Mel	Tyn	Pard	Mir
33 Kiel	Kiel																							
33 Rendsburg	Kiel	Kiel																						
33 Brunsbüttel		Kiel	Elb	Elbe																				
12 Cuxhaven			Elbe																					
13 Bützfleet			Elbe			Elbe																		
13 Hamburg					Elbe		Elbe																	
13 Lauenburg						Elbe		Elbe																
14 Tangermünde							Elbe		Elbe															
14 Rogätz Kieswerk								Elbe		Elbe														
14 Flusszweig Elbe/Mittellandkanal									Elbe		Elbe													
15 Magdeburger Häfen										Elbe		Elbe												
15 Schönebeck											Elbe		Elbe											
15 Flusszweig Elbe/Saale												Elbe		Elbe										
16 Aken													Elbe		Elbe									
16 Torgau														Elbe		Elbe								
16 Mühlberg Kieswerk															Elbe		Elbe							
16 Riesa																Elbe		Elbe						
16 Dresden																	Elbe		Elbe					
16 Decin																		Elbe		Elbe				
16 Usti nad Labem																			Elbe		Elbe			
16 Melnik																				Elbe		Elbe		
17 Tynec nad Labem																					Elbe		Elbe	
17 Pardubice																						Elbe		
18 Mirejovice																							Vlat	

Abbildung 37: Flussmatrix

In Abbildung 38 ist ein Ausschnitt der Schleusenmatrix abgebildet. Hieraus kann ermittelt werden, wie viele Schleusen sich zwischen zwei Punkten bzw. auf einer Kante befinden. Zwischen Hamburg und Lauenburg muss z.B. eine Schleuse überwunden werden. Die Anzahl der Schleusen auf einer gewählten Route sind deswegen von Bedeutung, da jede Schleusung 20 – 30 Minuten plus mögliche Wartezeiten in Anspruch nimmt und somit einen großen Einfluss auf die Gesamtdauer einer Fahrt hat.¹⁰³

0	33	33	33	12	13	13	13	14	14	14	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	18
D_ij	Kiel	Ren	Bru	Cux	Bütz	Ham	Lau	Tan	Rog	Flus	Mag	Sch	Flus	Ake	Torg	Müh	Ries	Dres	Deci	Usti	Mel	Tyn	Pard	Mir
33 Kiel	0																							
33 Rendsburg	0	0																						
33 Brunsbüttel	0	1	0	0	0																			
12 Cuxhaven			0	0																				
13 Bützfleet			0																					
13 Hamburg					0		1																	
13 Lauenburg						1		0																
14 Tangermünde							0		0															
14 Rogätz Kieswerk								0		0														
14 Flusszweig Elbe/Mittellandkanal									0		1													
15 Magdeburger Häfen										1		0												
15 Schönebeck											0		0											
15 Flusszweig Elbe/Saale												0		0										
16 Aken													0		0									
16 Torgau														0		0								
16 Mühlberg Kieswerk															0		0							
16 Riesa																0		0						
16 Dresden																	0		0					
16 Decin																		0		0				
16 Usti nad Labem																			0		0			
16 Melnik																				0		7		
17 Tynec nad Labem																					7		14	
17 Pardubice																						2		2
18 Mirejovice																							2	

Abbildung 38: Schleusenmatrix

¹⁰³ vgl. www.wsa-rheine.de/wasserstrassenbereich/dek/schleusen/index.html (gelesen am: 28.10.2015)

Die Feststellung der Wasserstraßenklassen erfolgt mit Hilfe der in Abbildung 39 ausschnittsweise dargestellten Klassenmatrix. Die Kanteninformation beinhaltet die vorhandene Wasserstraßenklasse zwischen zwei Häfen. Zwischen Hamburg und Lauenburg liegt demzufolge die Wasserstraßenklasse VI vor. Das Makro kann dann die niedrigste Wasserstraßenklasse auf einer Route ermitteln und ausgeben.

0		33	33	33	12	13	13	13	14	14	14	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	17	17	18	
D_ij		Kiel	Ren	Bru	Cux	Bütz	Ham	Lauen	Tange	Rogä	Fluss	Mag	Schö	Fluss	Aken	Torga	Müh	Ries	Dres	Děč	Ústí	Mel	Týne	Pard	Mifej
33	Kiel																								
33	Rendsburg	6																							
33	Brunsbüttel	6	6																						
12	Cuxhaven			6																					
13	Bützfleet			6	6																				
13	Hamburg			6		6																			
13	Lauenburg					6	6																		
14	Tangermünde							5																	
14	Rogätz Kieswerk							5	5																
14	Flussweig Elbe/Mittellandkanal							5	5	5															
15	Magdeburger Häfen								5	5	5														
15	Schönebeck									5	5	5													
15	Flussweig Elbe/Saale										5	5	5												
16	Aken											5	5	5											
16	Torgau												5	5	5										
16	Mühlberg Kieswerk													5	5	5									
16	Riesa														5	5	5								
16	Dresden															5	5	5							
16	Děčín																5	5	5						
16	Ústí nad Labem																	5	5	5	4				
16	Melnik																			5	4	4	4		
17	Týnec nad Labem (Chvaletice)																				4	4	4	4	
17	Pardubice																					4	4	4	
18	Mířejovice																						4	4	

Abbildung 39: Klassenmatrix

Die Richtungsmatrix, von welcher ein Ausschnitt in Abbildung 40 zu sehen ist, wird benötigt um die Fließrichtung der Flüsse bzw. Kanäle auf der berechneten Route festzustellen. Dabei werden den Kanten folgende Informationen zugeordnet:

- FL-Berg: frei fließender Fluss entgegen der Fließrichtung -> Bergfahrt
- FL-Tal: frei fließender Fluss in Fließrichtung -> Talfahrt
- KFL-Berg: kanalisierter Fluss entgegen der Fließrichtung -> Bergfahrt
- KFL-Tal: kanalisierter Fluss in Fließrichtung -> Talfahrt
- Kanal: Kanal ohne Fließrichtung -> stillstehendes Gewässer

Mit Hilfe dieser Daten kann anschließend die Strecke bezogen auf die jeweilige Fließrichtung ermittelt werden. Ist man beispielsweise von Hamburg nach Lauenburg unterwegs, fährt man auf einem frei fließenden Fluss gegen die Fließrichtung. Diese Informationen sind für eine spätere Ermittlung des Energiebedarfs interessant. Je nach Fließrichtung wird mehr oder weniger Energie für eine gleiche Fahrgeschwindigkeit benötigt.

0	33	33	33	12	13	13	13	14	14	14	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	18
D_ij	Kiel	Rendsb	Brunsb	Cuxhav	Bützfle	Hambu	Lauenb	Tanger	Rogätz	Flusszw	Magde	Schöne	Flusszw	Aken	Torgau	Mühlbe	Riesa	Dresde	Decin	Usti	Melnik	Tynec	Pardubi	Mirejov
33	Kiel	Kanal																						
33	Rendsb	Kanal	Kanal																					
33	Brunsb	Kanal	Kanal	FL-Tal	FL-Berg																			
12	Cuxhav			FL-Berg																				
13	Bützfle			FL-Tal																				
13	Hambu				FL-Tal		FL-Berg																	
13	Lauenb					FL-Tal	FL-Berg																	
14	Tanger						FL-Tal	FL-Berg																
14	Rogätz							FL-Tal	FL-Berg															
14	Flusszw								FL-Tal	FL-Berg														
15	Magde									FL-Tal	FL-Berg													
15	Schöne										FL-Tal	FL-Berg												
15	Flusszw											FL-Tal	FL-Berg											
16	Aken												FL-Tal	FL-Berg										
16	Torgau													FL-Tal	FL-Berg									
16	Mühlbe														FL-Tal	FL-Berg								
16	Riesa															FL-Tal	FL-Berg							
16	Dresde																FL-Tal	FL-Berg						
16	Decin																	FL-Tal	FL-Berg					
16	Usti																		FL-Tal	FL-Berg				
16	Melnik																			KFL-				
17	Tynec																				KFL-Tal	KFL-		
17	Pardubi																					KFL-Tal	KFL-	
18	Mirejov																						KFL-Tal	

Abbildung 40: Richtungsmatrix

Als Grundlage für die Drop-Down Listen zur Auswahl von Start- und Zielhafen dient eine alphabetische Auflistung nach Ländern wie sie ausschnittsweise in Abbildung 41 zu sehen ist. Mit Hilfe der Funktion „Namen“ in Excel und der Zellenformatierung lässt sich eine Drop-Down Liste wie sie in der User-Form zu sehen ist erstellen. Dabei wird erst das Land ausgewählt und anschließend werden nur noch die Häfen, welche in diesem Land vorhanden sind, angezeigt. Dies sorgt für eine deutlich bessere Übersichtlichkeit der Liste und erleichtert die Auswahl merklich.

Städte	Belgien	Bosnien	Bulgarien	Deutschlan	Frankreich	Kroatien	Luxemburg	Moldawien	Niederlande	Österreich	Polen	Rumänien
Belgien	Aalter	Slavonski	Belene	Aken	Aproport,	Vukovar	Mertert	Giurgulesti	Alblasserda	Enns-	Swinoujscie	Braila
Bosnien	Antwerpen		Lom	Andernach	Aproport,				Amsterdam	Korneuburg	Szczecin	Bukarest
Bulgarien	Avelgem		Oriahovo	Aschaffenburg	Aproport,				Born/Sittard	Krems	Kostrzyn	Calarasi
Deutschlan	Beveren		Rousse	Auguste	Arles				Cuijk	Linz		Constanta
Frankreich	Brüssel		Silistra	Bamberg	Breisach				Delfzijl	Linz-Voest		Poarta Alba
Kroatien	Charlroi		Somovit	Bendorf	Colmar-Neuf				Eemshaven	Linz-Voest		Galati
Luxemburg	Eijsden,		Svistov	Berkamen	Dunkerque				Genep	Wien		Giurgiu
Moldawien	Genk		Tutrakan	Bingen	Fos via the				Gorinchem	Ybbs		Medgidia
Niederlande	Gent		Vidin	Bonn	Frouard				IJmond			Moldova
Österreich	Grimbergen			Brake	Huningue				Maasbracht			Năvodari
Polen	Ham			Brandenburg	Lyon				Meerlo/Wan			Orsova
Rumänien	Hasselt			Brandenburg	Metz				Moerdijk			Tulcea
Schweiz	Liège			Braunschwei	Mondelange-				Nijmegen			Turnu
Serbien	Maastricht			Braunschwei	Mulhouse-				Roermond			Turnu
Slowakai	Meerhout			Bremen	Neuves				Rotterdam			
Tschechien	Melle			Bremerhafen	Saint-				Stein			
Ukraine	Namur			Brunsbüttel	Sète				Terneuzen			
Ungarn	Ruisbroek			Bützfleet	Strasbourg				Tiel			

Abbildung 41: Liste der Häfen

Sämtliche Informationen für die Matrizen und eine Auflistung der Häfen wurden zum großen Teil aus folgender Literatur bezogen: „BLUE BOOK, INVENTORY OF MAIN STANDARDS AND PARAMETERS OF THE E WATERWAY NETWORK“ herausgegeben von der UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (UNECE). Hierbei handelt es sich um eine Auflistung der Flussabschnitte, den zugehörigen Häfen und unterschiedlichen Informationen wie: Wasserstraßenklasse, Teilstrecken, Schleusen.¹⁰⁴

Eine Übersichtskarte mit sämtlichen europäischen Binnenschifffahrtsstraßen, Schleusen und Art des Gewässers, also freifließend, kanalisiert oder Kanal, wurde ebenfalls vom UNECE herausgegeben und ist im Anhang zu finden.¹⁰⁵

Als weitere Quelle für die Daten der Matrizen wurde noch nachfolgende Literatur verwendet: „Europäischer Schifffahrts- und Hafenkalender“ vom Binnenschifffahrts-Verlag GmbH. Darin finden sich sämtliche Binnenschifffahrtsstraßen in Europa wieder und werden exakt beschrieben. Dabei wird jedes für die Schifffahrt wichtige Objekt wie Häfen, Schleusen und Abzweigungen bezogen auf die linke bzw. rechte Uferseite aufgelistet.¹⁰⁶

¹⁰⁴ vgl. BLUE BOOK, 2012

¹⁰⁵ vgl. https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/sc3/European_inland_waterways_-_2012.pdf (gelesen am: 02.03.2015)

¹⁰⁶ vgl. WESKA, Europäischer Schifffahrts- und Hafenkalender

4.4.2 Makro Ebene

Das Makro ist in vier so genannte Module eingeteilt. Jedes Modul beinhaltet unterschiedliche Anweisungen und Funktionen. In Abbildung 42 ist der Aufbau mit den Inhalten der vier Module abgebildet.

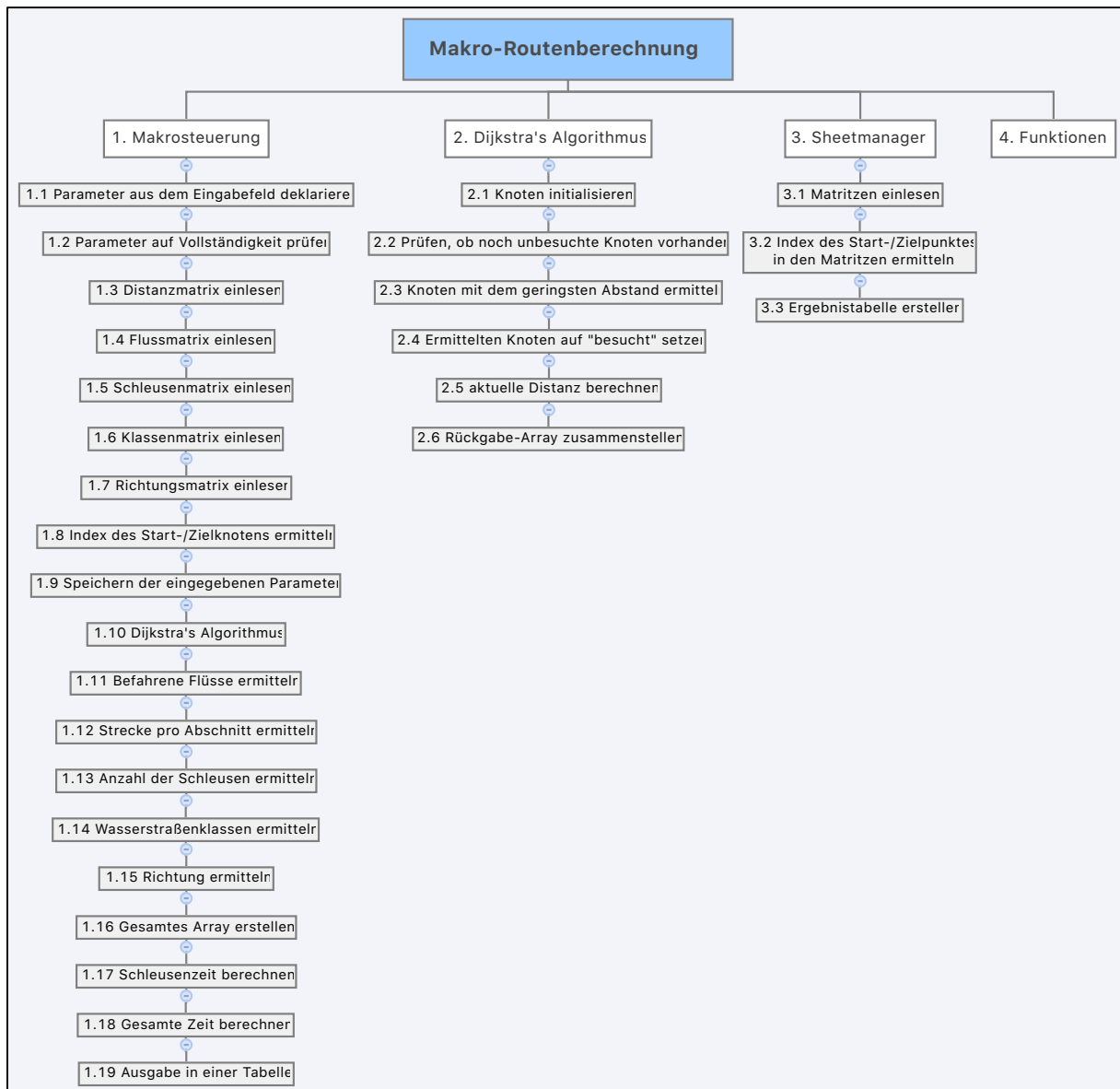


Abbildung 42: Makroaufbau

Für eine bessere Übersichtlichkeit innerhalb des Makros ist lediglich aus dem 1. Modul „Makrosteuerung“ der Aufbau und die Funktionsweise abzuleiten. Insbesondere das 3. und 4. Modul („Sheetmanager“ und „Funktionen“) beinhalten die gesamten Funktionen, welche von der Makrosteuerung aufgerufen werden. Das 2. Modul „Dijkstra's Algorithmus“ beinhaltet nur die Funktion des Algorithmus. Da dieser sehr umfangreich ist, wurde ein eigenes Modul erstellt.

In der User-Form in Excel aus Abbildung 35 werden der gewünschte Start- und Zielhafen ausgewählt. Hierbei wird jeweils zu erst das gewünschte Land aus einer

Dropdown-Liste, wie in Abbildung 43 abgebildet, ausgewählt. In der Beispielsroute befindet sich der Starthafen in Österreich.

Paramterauswahl		
Starthafen	Österreich	Wien
Zielhafen		Rotterdam
Parameter:		
Geschwindigkeit		20,0
Dauer pro Schleu		30
Sonstige Warteze		2

- Belgien
- Bosnien und Herzegowina
- Bulgarien
- Deutschland
- Frankreich
- Kroatien
- Luxemburg
- Moldawien
- Niederlande
- ✓ Österreich
- Polen
- Rumänien
- Schweiz
- Serbien
- Slowakai
- Tschechien
- Ukraine
- Ungarn

Abbildung 43: Auswahl des Landes

Im Anschluss werden im zweiten Dropdown-Menü nur noch die Länder des gewählten Landes angezeigt und der gewünschte Hafen kann ausgewählt werden. In diesem Fall ist der ausgewählte Starthafen Wien. Die Auswahl ist in Abbildung 44 zu erkennen.

Paramterauswahl		
Starthafen	Österreich	Wien
Zielhafen	Niederlande	
Parameter:		
Geschwindigkeit in km/h		
Dauer pro Schleusung in [min]		
Sonstige Wartezeiten in [hh]		

- Enns-Ennsdorf
- Korneuburg
- Krems
- Linz
- Linz-Felbermayr (Heavy-Lift-Port)
- Linz-Voest (Private Port)
- ✓ Wien
- Ybbs

Berechnung starten!

Abbildung 44: Auswahl Starthafen

Für die Beispielsroute wurde der Hafen in Wien in Österreich und Rotterdam in den Niederlanden als Start- und Zielpunkt gewählt. Die durchschnittliche Geschwindigkeit soll 20,0 km/h betragen. Die Dauer pro Schleusung wurde mit 30 Minuten kalkuliert und sonstige Wartezeiten für die komplette Strecke sind mit 2 Stunden festgesetzt. Nachdem sämtliche Daten eingetragen sind, wird die Routenberechnung durch Klicken des Buttons „Berechnung starten!“ gestartet.

Nachfolgend wird der Ablauf und der Aufbau des Makros Schritt für Schritt anhand der Beispielberechnung aus Abbildung 35 und dem Aufbau des Makros aus Abbildung 42 erläutert. Der VBA-Code des kompletten Makros ist im Anhang verfügbar.

1. **Makrosteuerung:** Dieses Modul dient der Steuerung des Makros und beinhaltet den genauen Ablauf. Die Makrosteuerung beinhaltet folglich den Leitfaden, welcher bei jeder Routenberechnung in der definierten Reihenfolge abgearbeitet wird. Dieses Modul beinhaltet keine direkten Funktionen, sondern spricht lediglich die Funktionen in den anderen drei Modulen an. Das Modul Makrosteuerung initiiert also die jeweiligen Funktionen und sammelt die Ergebnisse. Die jeweiligen Funktionen sind in einem extra Modul eingegliedert, um eine bessere Übersichtlichkeit zu erhalten.

1.1. Parameter aus dem Eingabefeld deklarieren: In einem ersten Schritt werden die benötigten Variablen mit den Parametern aus dem Eingabefeld verknüpft. Hierbei handelt es sich um Start-/Zielhafen, Geschwindigkeit, Schleusenzeiten und den Sonstigen Zeiten. Im weiteren Verlauf der Berechnung, können dann anstatt den direkten Werten bzw. Bezeichnungen die Variablen benutzt werden. Bei einer neuen Berechnung werden diese dann entsprechend wieder neu belegt.

1.2. Parameter auf Vollständigkeit prüfen: Bevor die Berechnung startet, werden die eingegebenen Parameter und Zahlen auf Plausibilität geprüft. Widersprechen sich die Eingaben oder ist eine Berechnung nicht möglich, werden verschiedene Fehlermeldungen ausgegeben, welche nachfolgend kurz erläutert werden.

Für die Berechnung der Gesamtdauer ist in jedem Fall die Angabe einer Geschwindigkeit nötig. Ist diese nicht vorhanden, weist folgende Fehlermeldung darauf hin:

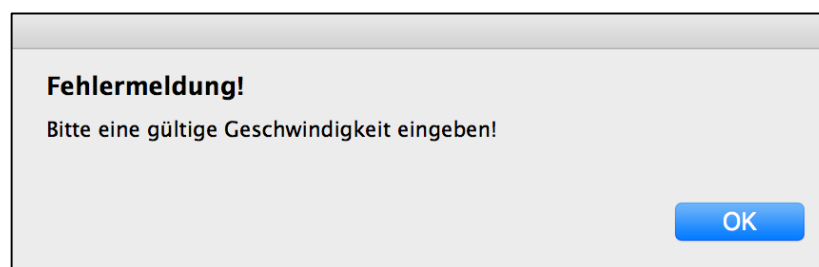


Abbildung 45: Fehlermeldung-Geschwindigkeit

Ein kleines Teilstück der Binnenschifffahrtsstraßen in Südfrankreich ist (noch) nicht mit dem restlichen Netzwerk verbunden. Diese Strecke erstreckt sich von Marseille die Rhone entlang bis nach St. Symphorien. Falls entweder Start- oder Zielpunkt auf dieser Strecke liegen, erscheint ebenfalls eine Fehlermeldung, dass eine Routenberechnung zwecks fehlender Verbindung in

diesem Fall nicht möglich ist. Eine Routenberechnung in diesem Gebiet ist nur möglich, wenn sowohl Start- als auch Zielhafen auf der gleichen Route liegen.

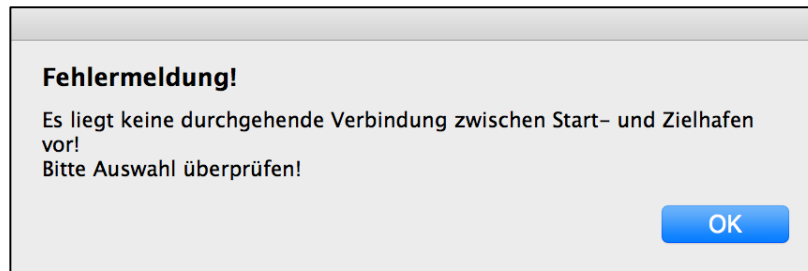


Abbildung 46: Fehlermeldung – fehlende Verbindung

Wurden für Start- und Zielpunkt identische Häfen bzw. Städte gewählt kann die Routenberechnung ebenfalls nicht starten und es erscheint folgende Fehlermeldung:

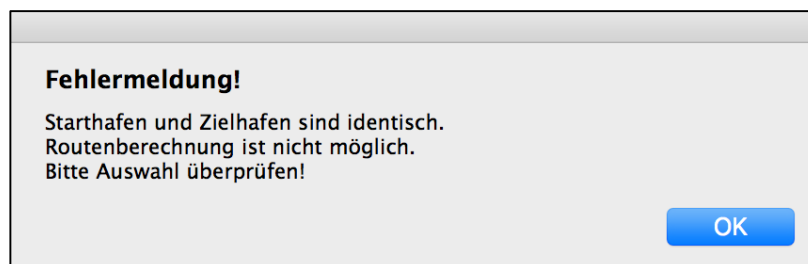


Abbildung 47: Fehlermeldung - Start und Ziel identisch

Für eine falsche oder fehlende Angabe für die Schleusendauer und sonstige Wartezeiten, erscheint keine Fehlermeldung, da diese für eine Berechnung nicht zwingend notwendig sind. Die Berechnung von Schleusenzeit und der gesamten Fahrzeit wird dann nicht ausgeführt.

Wenn alle Parameter korrekt eingegeben wurden und es keine Widersprüche mehr gibt, erscheint ein Fenster, in dem die Ausgabe in Tabellenform bestätigt oder abgelehnt werden kann. Die Erstellung der Tabelle nimmt ein paar Sekunden, je nach Leistung des PC, in Anspruch und bei falschen Eingaben kann mit Hilfe des folgenden Fensters die Erstellung abgebrochen werden und somit Zeit gespart werden.

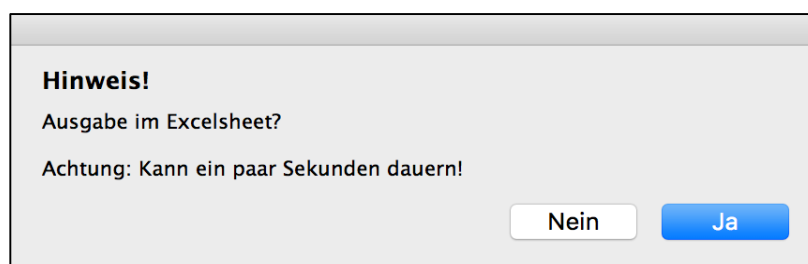


Abbildung 48: Tabellenerstellung bestätigen

Falls bei dem Fenster in Abbildung 48 auf „Ja“ geklickt wird, wird das Ergebnis nach Berechnung in Tabellenform im Excel-Sheet „User-Form“ ausgegeben. Auf das Ergebnis und die Ausgabeform wird im weiteren Verlauf noch genauer eingegangen.

1.3. Distanzmatrix einlesen: Die Matrizen werden bei jeder Routenberechnung neu eingelesen und innerhalb des Makros abgespeichert. Dadurch können Veränderungen an der betroffenen Matrix sofort im Makro übernommen werden. Damit der Bereich, in dem die betroffene Matrix im Excel-Sheet liegt, erfasst werden kann, wird zunächst die Zelle im Excel-Sheet „Distanzmatrix“ mit dem Inhalt „D_ij“ gesucht. Dabei steht das „D“ für Distanzmatrix und „ij“ für Zeilen und Spalten. Diese Zelle dient als Orientierung innerhalb des Excel-Sheets. In Abbildung 49 ist die Zelle mit „D_ij“ rot markiert und befindet sich im linken Oberen Bereich. Ausgehend von der Zelle mit „D_ij“ werden solange die Zeilen gezählt, bis eine Zelle ohne Inhalt vorliegt. Die Anzahl der Zellen zwischen der Orientierungszelle und der ersten leeren Zelle stellt die Breite bzw. Abmessung der quadratischen Matrix dar. Dies ist in Abbildung 49 mit dem roten Pfeil markiert, welcher bis zur rotmarkierten leeren Zelle reicht. In diesem Beispiel ist die Matrix 21 Zellen Breit. Ausgehend von der „D_ij“-Zelle kann nun die Fläche der Matrix aufgespannt und in dem Makro abgespeichert werden. Hierbei wird der Bereich mit den Hafenbezeichnungen am linken und oberen Rand der Matrix nicht im Makro abgespeichert, sondern lediglich der Bereich mit den Distanzen. Innerhalb dieses Bereiches befinden sich dann die Distanzinformationen, auf welche der Algorithmus zugreifen kann.

D_ij	Kiel	Rends	Brunst	Cuxha	Bützfle	Hamb	Lauen	Tange	Rogätz	Flussz	Magde	Schön	Flussz	Aken	Torgau	Mühlb	Riesa	Dresde	Děčín	Ústí na	Melnik	
1 Kiel		34,0																				
2 Rendsburg	34,0		58,5																			
3 Brunsbüttel		58,5		31,0	25,0																	
4 Cuxhaven			31,0																			
5 Bützfleet				25,0																		
6 Hamburg					39,5																	
7 Lauenburg						60,5																
8 Tangermün							180,0															
9 Rogätz								180,0														
10 Flusszweig									34,0													
11 Magdeburg										10,0												
12 Schönebeck											10,0											
13 Flusszweig												12,5										
14 Aken													12,5									
15 Torgau														16,5								
16 Mühlberg															23,0							
17 Riesa																15,0						
18 Dresden																	123,0					
19 Děčín																		123,0				
20 Ústí nad																			29,0			
21 Melnik																				29,0	16,0	
																					50,0	50,0
																						71,2
																						24,5
																						71,7

Abbildung 49: Matrixgröße und Index ermitteln

1.4. Flussmatrix einlesen: Ablauf ist identisch wie bei 1.2 „Distanzmatrix einlesen“, lediglich wird das Excel-Sheet „Flussmatrix“ eingelesen.

1.5. Schleusenmatrix einlesen: Ablauf ist identisch wie bei 1.2 „Distanzmatrix einlesen“, lediglich wird das Excel-Sheet „Schleusenmatrix“ eingelesen.

1.6. Klassenmatrix einlesen: Ablauf ist identisch wie bei 1.2 „Distanzmatrix einlesen“, lediglich wird das Excel-Sheet „Klassenmatrix“ eingelesen.

- 1.7. Richtungsmatrix einlesen:** Ablauf ist identisch wie bei 1.2 „Distanzmatrix einlesen“, lediglich wird das Excel-Sheet „Richtungsmatrix“ eingelesen.
- 1.8. Index des Start-/Zielhafens ermitteln:** Damit das Makro den ausgewählten Start- und Zielhafen eindeutig zuordnen kann, müssen beide in der Matrix ermittelt werden und die fortlaufende Nummer der beiden Knoten ausgehend von der Orientierungszelle gespeichert werden. Diese Zellennummern sind dann die Knotenindizes von Start- und Zielpunkt. Hierfür werden die vorhandenen Häfen in der Matrix Schritt für Schritt abgefragt, bis der Inhalt einer Zelle mit den gewählten Häfen übereinstimmt. Hieraus ergibt sich dann der Index des gewählten Start- bzw. Zielpunktes. In dem Beispiel aus Abbildung 49 ist der Startpunkt der rot umrandete Hafen „Magdeburg“ mit der Indexnummer „11“. Der Algorithmus arbeitet später nur mit den Indexnummern und nicht mit den eigentlichen Hafennamen.
- 1.9. Speichern der eingegebenen Parameter:** Mit diesem Befehl werden die eingegebenen Parameter wie Geschwindigkeit, Schleusendauer und sonstige Wartezeiten im Makro abgespeichert, indem die Werte aus dem Excel-Sheet verschiedenen Variablen im Makro zugeordnet werden.
- 1.10. Dijkstras Algorithmus:** Aus der Distanzmatrix wird durch Anwendung des Dijkstras Algorithmus, dessen Funktionsweise bereits genauer erläutert wurde, der kürzeste Weg zwischen Start- und Zielpunkt gefunden. Die Reihenfolge der Knotenindizes, welche der Reihe nach abgefahren werden müssen um auf dem kürzesten Weg vom Start ans Ziel zu gelangen, wird in einem so genannten Array gespeichert. In diesem können viele Datenwerte in einem einzigen Datentyp gespeichert werden. Jeder Knotenindex bekommt einen eigenen Speicherplatz und das Array wird so lange erweitert, bis der Zielpunkt erreicht ist. Dieses Array und insbesondere die Reihenfolge der Knotenpunkte ist Grundlage für alle weiteren Berechnungen.¹⁰⁷
- In Abbildung 50 ist der Aufbau und die Funktionsweise dieses Arrays als Beispiel abgebildet. Dabei bildet der Index 12 den Starthafen und Index 33 den Zielpunkt. Die Indexwerte dazwischen bilden den kürzesten Weg und werden so lange erweitert bis der Zielpunkt erreicht ist.
- Der VBA-Code des Dijkstras Algorithmus orientiert sich stark an der Vorlage von Karsten und Nicole Weicker aus dem Werk „Algorithmen und Datenstrukturen“.¹⁰⁸

¹⁰⁷ vgl. Theis T., 2013, S. 156

¹⁰⁸ vgl. Weicker K., 2013, S. 121 ff.

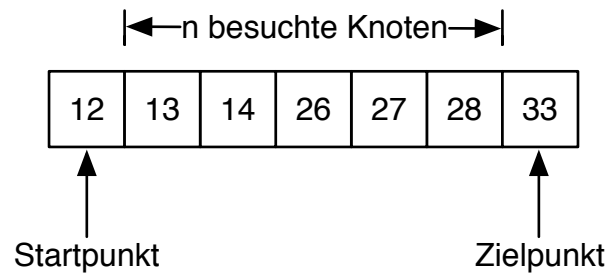


Abbildung 50: Funktion des Rückgabearray

- 1.11. Befahrene Flüsse ermitteln:** In dem Array, welches durch den Dijkstras Algorithmus ausgegeben wurde, ist die korrekte Reihenfolge der Knoten, die zur kürzesten Strecke zwischen dem Start- und Zielpunkt führen, abgebildet. Mit Hilfe dieses Arrays und der Flussmatrix kann nun ein neues Array erstellt werden, in dem die zu befahrenen Flüsse und Kanäle in der korrekten Reihenfolge abgebildet und gespeichert sind. Hierbei wird anhand des Rückgabearrays des Algorithmus der jeweilige Fluss zwischen zwei Häfen bzw. zwei Indizes ermittelt und in einem neuen Array abgespeichert.
- 1.12. Strecke pro Abschnitt ermitteln:** Ablauf ist identisch wie bei 1.11 „Befahrene Flüsse ermitteln“, lediglich wird die Distanzmatrix verwendet. Es werden die jeweiligen Teilstrecken zwischen zwei benachbarten Häfen in einem Array abgespeichert.
- 1.13. Anzahl der Schleusen ermitteln:** Ablauf ist identisch wie bei 1.11 „Befahrene Flüsse ermitteln“, lediglich wird die Schleusenmatrix verwendet. Es wird die Anzahl der Schleusen zwischen zwei benachbarten Häfen in einem Array abgespeichert.
- 1.14. Wasserstraßenklassen ermitteln:** Ablauf ist identisch wie bei 1.11 „Befahrene Flüsse ermitteln“, lediglich wird die Wasserstraßenmatrix verwendet. Es wird die Wasserstraßenklasse zwischen zwei benachbarten Häfen in einem Array abgespeichert.
- 1.15. Richtung ermitteln:** Ablauf ist identisch wie bei 1.11 „Befahrene Flüsse ermitteln“, lediglich wird die Richtungsmatrix verwendet. Es werden die Flüsse zwischen zwei benachbarten Häfen in einem Array abgespeichert.
- 1.16. Gesamtes Array erstellen:** Mit dieser Funktion werden die bisher erstellten Arrays zu einem großen Array zusammengefasst. Dabei werden alle identischen Flüsse, die jeweiligen Distanzen bezogen auf die Flüsse und die Anzahl der Schleusen gebündelt abgespeichert. Die Wasserstraßenklasse für einen Fluss oder Kanal wird so lange aktualisiert, bis die niedrigste Klasse auf einem Fluss gefunden und abgespeichert ist. Anhand der Summe der Teilstrecken lässt sich die Gesamtdistanz zwischen Start- und Zielpunkt berechnen. Die Transportzeit kann dann unter einbeziehen der angegebenen Durchschnittsgeschwindigkeit errechnet werden und ebenfalls in dem Array gespeichert werden.

	Fluss 1	Fluss 2	Fluss 3
Gesamt Strecke	Strecke	Strecke	Strecke
Gesamt Schleusen	Schleusen	Schleusen	Schleusen
niedrigste W. Klasse	W. Klasse	W. Klasse	W. Klasse
Gesamte Zeit	Zeit	Zeit	Zeit

Abbildung 51: Aufbau des Gesamtarray

In Abbildung 51 ist der Aufbau und der Inhalt des Gesamtarrays zu sehen. In der linken Spalte werden jeweils die Gesamtwerte bezogen auf die komplette Route zusammengefasst. Daneben sind die Informationen bezüglich Teilstrecke, Schleusenanzahl, niedrigste Wasserkategorie und Zeit auf den jeweiligen Fluss bzw. Kanal bezogen. Je nach Anzahl der unterschiedlichen Flüsse, kann das Array unendlich vergrößert werden.

- 1.17. Schleusenzeit berechnen:** Die gesamte Schleusenzeit, die auf der Route benötigt wird, kann mit der Anzahl der Schleusen und der durchschnittlichen Dauer pro Schleusungsvorgang errechnet werden. Die gesamte Anzahl der Schleusen wurde bereits berechnet und ist im Gesamtarray abgespeichert. Die Schleusendauer wurde als variabler Wert zu Beginn der Berechnung von der Eingabe aus der User-Form übernommen. Die Schleusenzeit ergibt sich dann durch eine einfache Multiplikation der beiden Werten.
- 1.18. Gesamte Zeit berechnen:** Die gesamte Zeit setzt sich aus folgenden Werten zusammen: Gesamte Streckendauer + Schleusenzeit + angegebene sonstige Wartezeiten = gesamte Zeit. Die Gesamte Streckendauer wurde bereits im Gesamtarray berechnet und die Schleusenzeit mit Funktion 1.17 „Schleusenzeit berechnen“ ermittelt. Die sonstigen Wartezeiten sind wieder als variabler Wert aus den angegebenen Parametern abgeleitet worden.
- 1.19. Ausgabe in einer Tabelle:** Die Ergebnisse aus dem Gesamtarray werden in Tabellenform im Excel-Sheet ausgegeben. Auf die Tabelle mit den Routeninformationen wird in Kapitel 4.4.3 detailliert eingegangen.
- 2. Dijkstra's Algorithmus:** Mit der Funktion 1.9 Dijkstra's Algorithmus wird dieses Modul gestartet, damit der kürzeste Weg zwischen Start- und Zielpunkt ermittelt werden kann. Dabei werden die Informationen über die Distanzmatrix, Start- und Zielindex an die Funktion übergeben.

- 2.1. Knoten initialisieren:** In einem ersten Schritt werden sämtliche Knoten der Distanzmatrix initialisiert. Die jeweilige Distanz wird auf „unendlich“ gesetzt, jeder Knoten wird als „nicht besucht“ markiert und die Distanz des Startknotens wird auf „null“ gesetzt.
 - 2.2. Überprüfen, ob noch unbesuchte Knoten vorhanden sind:** Abfrage, ob noch unbesuchte Knoten in der Distanzmatrix vorhanden sind. Falls keine mehr vorhanden sind, und das Ziel noch nicht erreicht ist, gibt es keinen Weg von Start nach Ziel und das Makro wird abgebrochen. Sind noch unbesuchte Knoten vorhanden, läuft das Makro weiter.
 - 2.3. Knoten mit dem geringsten Abstand ermitteln:** Mit dieser Funktion wird der Knoten ermittelt, der die aktuelle kürzeste Gesamtdistanz zum Startknoten hat.
 - 2.4. Den gerade betrachteten Knoten auf besucht setzen:** Der betrachtete Knoten wird auf besucht gesetzt und als Grundlage für den nächsten Durchlauf des Algorithmus definiert. Ausgehen von ihm wird dann wieder der Knoten mit der kürzesten Gesamtdistanz gesucht.
 - 2.5. Den aktuell minimalen Abstand berechnen:** Der aktuell vorliegende Abstand von Startknoten zum betrachteten Knoten wird berechnet.
 - 2.6. Rückgabearray erstellen:** Die Reihenfolge der zu besuchenden Knoten wird mit den jeweiligen Indizes in diesem Array Schritt für Schritt abgespeichert, bis der Zielknoten erreicht ist.
3. **Sheetmanager:** Die Funktionen dieses Moduls wurden bereits unter 1. Makrosteuerung erläutert. Dieses Modul beinhaltet sämtliche Funktionen, welche direkt mit den Excel-Sheets verbunden sind, so wie die Funktion zur Erstellung der Ergebnistabelle oder dem Einlesen der Matrizen. Das Modul „Sheetmanager“ wurde lediglich für eine bessere Übersichtlichkeit des gesamten Makros erstellt.
 4. **Funktionen:** Dieses Modul dient ebenfalls ausschließlich der Übersichtlichkeit des Makros und beinhaltet sämtliche Funktionen, welche von dem Modul 1. Makrosteuerung aufgerufen werden und welche keinen Zusammenhang mit den Excel-Sheets haben.

Nachdem das Makro die optimale Route und die geforderten Informationen berechnet hat, wird eine Excel-Tabelle erstellt. Der Aufbau und der Inhalt dieser Tabelle ist in nachfolgendem Kapitel erläutert.

4.4.3 Ausgabe in Tabellenform

Mit dem Befehl 1.19 „Ausgabe in der Tabelle“ wird die Tabelle mit den berechneten Informationen erstellt. In Abbildung 52 ist das Excel-Sheet nach Beendigung der Berechnung der Beispielroute und Erstellung der Tabelle zu sehen. Die linke Tabelle bildet die Auswahlmaske zur Eingabe der geforderten Parameter. Bei der Beispielroute wurde Wien als Starthafen und Rotterdam als Zielhafen ausgewählt. Die Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt 20 km/h und pro Schleusung ist eine Dauer von 30 Minuten veranschlagt. Für sonstige Wartezeiten wie z.B. vor Schleusen oder bei Engstellen sind 2 Stunden gewählt worden. Im rechten Bereich ist die Tabelle mit der berechneten Route und den Streckenbezogenen Informationen abgebildet. Diese Tabelle kann je nach Anzahl der befahrenen Flüsse größer oder kleiner sein.

Paramterauswahl		
Starthafen	Österreich	Wien
Zielhafen	Niederlande	Rotterdam
Parameter:		
Geschwindigkeit in km/h	20,0	
Dauer pro Schleusung in [min]	30	
Sonstige Wartezeiten in [hh]	2	
Berechnung starten!		

Routeninformation		Teilstrecken						
		Gesamt	Donau	Main-Donau-Kanal	Main Rhein	Waal	Merwede	Noord
Flüsse								
Wasserstraßenklasse	5	5	5	5	6	6	6	6
Strecke in [km]	1502,6	492,5	171,6	330	394,6	67,4	25,1	21,4
Zeit in [hh:mm]	75:07	24:37	8:34	16:30	19:43	3:22	1:15	1:04
Anzahl Schleusen	61	15	16	30	0	0	0	0
Strecken in Fließrichtung in [km]								
Frei fließender Fluss: Bergfahrt	59,7							
Frei fließender Fluss: Talfahrt	590,8							
Kanal	171,6							
Kanalisierte Fluss: Bergfahrt	350,5							
Kanalisierte Fluss: Talfahrt	330							
Zeiten in [hh:mm]								
Schleusenzeit	30:30							
Sonstige Zeit	2:00							
Gesamte Dauer	107:37							

Abbildung 52: Ausgabe der Routenergebnisse

In Abbildung 53 ist die Informationstabelle nochmals mit farblichen Markierungen für eine bessere Erläuterung der einzelnen Informationsfelder abgebildet. Die Tabelle unterteilt sich in vier Hauptbereiche:

- **Blauer Bereich:** In diesem Feld werden streckenbezogene Informationen für die komplette Route ausgegeben. Die geringste Wasserstraßenklasse auf der Route von Wien nach Rotterdam hat demnach die Klasse V. Insgesamt muss eine Strecke von 1502,6 km mit einer reinen Fahrzeit bei 20 km/h Geschwindigkeit von 75 Stunden und 7 Minuten zurückgelegt werden. Dabei werden insgesamt 61 Schleusen überwunden.
- **Roter Bereich:** Hier werden die Informationen wie Wasserstraßenklasse, Strecke, Zeit und Anzahl der Schleusen auf die jeweiligen Flüsse bzw. Kanäle auf der Route gesplittet. Beispielsweise werden 492,5 km in 24 Stunden und 37 Minuten bei einer Anzahl von 15 Schleusen auf dem Fluss Donau zurückgelegt. Die geringste Wasserstraßenklasse auf diesem Abschnitt der Donau beträgt V.
- **Grüner Bereich:** Der grüne Bereich gibt Informationen über die Fließrichtung und die jeweilige Strecke. Diese Informationen sind für den Energieverbrauch des Schiffes wichtig, da sich dieser, je nach Fließrichtung deutlich verändern kann. Die Fließrichtung wird nach folgenden fünf Punkten unterteilt:
 - **Frei fließender Fluss: Bergfahrt:** Dieser Abschnitt ist noch nicht kanalisiert, sondern fließt noch ganz natürlich. Das Schiff fährt gegen die Fließrichtung, also Bergauf. In diesem Beispiel sind das 59,7 km
 - **Frei fließender Fluss: Talfahrt:** Das Schiff fährt mit der Fließrichtung auf einem natürlichen, frei fließenden Fluss. Von Wien nach Rotterdam müssen 590,8 km frei fließender Fluss in Talfahrt zurückgelegt werden.
 - **Kanal:** Ein Kanal ist eine künstlich errichtete Schifffahrtsstraße in der keine oder nahezu keine Strömung vorherrscht. 171,6 km Kanal sind in diesem Berechnungsbeispiel vorhanden
 - **Kanalisierte Fluss: Bergfahrt:** Diese Teile des Binnenschifffahrtsnetzwerkes sind Flüsse, welche kanalisiert und begradigt wurden. Auch hier ist eine andere Strömung vorhanden als bei frei fließenden Flüssen. Von Wien nach Rotterdam sind 350,5 km kanalisiert und müssen entgegen der Strömung befahren werden
 - **Kanalisierte Fluss: Talfahrt:** Die Strecke wird in Fließrichtung zurückgelegt. In diesem Fall beträgt die Strecke auf kanalisiertem Abschnitt in Fließrichtung 330 km

- **Oranger Bereich:** In diesem Bereich der Tabelle werden die benötigten Zeiten aufgelistet. Anhand der angegebenen durchschnittlichen Schleusendauer und der Anzahl der Schleusen wird die Zeit berechnet, welche für alle Schleusen benötigt wird. Die sonstigen Zeiten kommen ebenfalls aus der User-Form. Die Gesamtdauer berechnet sich aus der Summer aus der reinen Fahrzeit, der Schleusenzeit und den sonstigen Zeiten.

Routeninformation									
Gesamt		Teilstrecken							
Flüsse		Donau	Main-Donau-Kanal	Main	Rhein	Waal	Merwede	Noord	
Wasserstraßenklasse	5	5	5	5	6	6	6	6	
Strecke in [km]	1502,6	492,5	171,6	330	394,6	67,4	25,1	21,4	
Zeit in [hh:mm]	75:07	24:37	8:34	16:30	19:43	3:22	1:15	1:04	
Anzahl Schleusen	61	15	16	30	0	0	0	0	
Strecken in Fließrichtung in [km]									
Frei fließender Fluss: Bergfahrt	59,7								
Frei fließender Fluss: Talfahrt	590,8								
Kanal	171,6								
Kanalisierte Fluss: Bergfahrt	350,5								
Kanalisierte Fluss: Talfahrt	330								
Zeiten in [hh:mm]									
Schleusenzeit	30:30								
Sonstige Zeit	2:00								
Gesamte Dauer	107:37								

Abbildung 53: Routeninformationen in Excel-Tabelle

Da diese Daten in einer Excel-Tabelle erstellt werden, können sie direkt weiterverwendet werden ohne eine große Transformation der Datenwerte zu vollziehen.

Nachdem die Ergebnisse kopiert wurden, kann durch neues Auswählen von Start- und Zielhafen und Eingabe der geforderten Parameter eine neue Berechnung gestartet werden. Die bestehende Tabelle wird dann durch die neu ermittelte ersetzt. In einer Erweiterung des Tools ist es möglich, zwei Berechnungen parallel durchzuführen, um die Ergebnisse direkt miteinander zu vergleichen. Die Funktionsweise und der Aufbau des Makros sind in diesem Fall identisch.

4.5 Vorteile im Vergleich zu anderen Tools

Ein großer Vorteil dieses Routenplanungstools ist die direkte Berechnung und Ausgabe der Ergebnisse in einer Excel-Tabelle. Dadurch können die Routeninformationen direkt weiterverwendet werden. Des Weiteren werden bei diesem Routenplanungstool sehr detaillierte Informationen über die Route ausgegeben. So wird jeder Fluss bzw. jede Wasserstraße mit den jeweiligen Infos wie Strecke, Fahrzeit, Schleusen und Wasserstraßenklassen gesondert aufgelistet. Ein weiterer großer Vorteil ist die einfache Erweiterung der Datenbasis durch die Matrizen. Da die Matrizen bei jeder Berechnung neu erfasst werden, können diese einfach durch weitere Häfen oder Wasserstraßen und Routen erweitert werden.

In Abbildung 54 ist nochmals der Vergleich der verschiedenen Routenplanungstools zu sehen. Allerdings wird bei diesem Vergleich das erarbeitete Excel-Tool ebenfalls in Betracht gezogen. Dieses schneidet bei einem Großteil der Bewertungskriterien gut bis sehr gut ab.

Tabelle 3: Vergleich - Routenplanungstools

Eigenschaft	Start-/Ziel	Distanz	Dauer	Informations- gehalt	Energie- verbrauch	Routen	Kombinierter Verkehr	Preis	Ausgabe	Schwerpunkt
Tool										
EcoTransit	●	◐	○	○	●	○	●	●	◐	Energie & Emissionen
PC-Navigo	◐	◐	◐	◐	○	●	○	◐	○	Navigation
Periskal	◐	◐	◐	◐	○	○	○	◐	○	Navigation
Inlandlinks	◐	◐	◐	○	◐	○	●	●	○	bezogen auf Rotterdam
Excel-Tool	◐	●	●	●	○	○	○	●	●	Binnenschifffahrt
Legende	●	Trifft voll und ganz zu	◐	Trifft größtenteils zu	◐	Trifft teilweise zu	◐	Trifft kaum zu	○	Trifft gar nicht zu

Die Start-/Zielauswahl ist ähnlich wie bei den übrigen Tools. Es kann jeweils aus einer Liste ein vorgegebener Hafen bzw. Ort ausgewählt werden. Bei dem Excel-Tool wird zum einen die komplette Distanz aber auch flussbezogene Teilstrecken ausgegeben. Des Weiteren werden die Strecken bezogen auf die Fließrichtung berechnet. Diese Informationen können in Kombination mit der Durchschnittsgeschwindigkeit für die Berechnung des Treibstoffbedarfs und den Kosten verwendet werden. Identisch verhält es sich bei der Dauer. Diese wird ebenfalls als Gesamtdauer und auch flussbezogen ausgegeben. Neben den flussbezogenen Zeiten werden auch noch die Schleusenzeiten und die komplette Zeit inklusive der Schleusenzeiten und sonstigen Wartezeiten in die Gesamtdauer mit einberechnet.

Da die Bereiche Energieverbrauch, Routen und Kombiniertes Verkehr kein Bestandteil bei der Entwicklung des Routenplanungstools waren, sind diese Funktionen auch nicht implementiert. Das Tool ist institutsintern kostenfrei verfügbar

und benötigt keine aufwendige Softwarepflege oder ähnliches. Lediglich eine Microsoft Excel Anwendung wird für die Verwendung des Tools benötigt. Die anderen Tools geben die berechneten Daten entweder in einer programmeigenen Form oder maximal in Form eines PDF aus. Möchte man die Daten allerdings für Planungszwecke oder sonstigem weiter verwenden ist eine Ausgabe in Excel sinnvoller, da die Daten hieraus direkt kopiert und direkt verlinkt werden können.

Ein weiterer Vorteil des Routenplanungstools in Excel ist die Möglichkeit, das Tool beliebig mit Funktionen zu erweitern, wenn man die Programmiersprache VBA beherrscht. Dadurch kann das Tool an die jeweiligen Anforderungen und Bedürfnisse leicht angepasst werden. Auch eine Erweiterung oder Änderung der Datenbasis ist leicht zu handhaben und von jedem durchführbar. Potentielle Entwicklungsmöglichkeiten werden im nächsten Kapitel erläutert.

4.6 Entwicklungsmöglichkeiten

Je nach Anwendung und Einsatzbereich des Tools können unterschiedliche ergänzende Funktionen sinnvoll erscheinen. Im Bereich der Binnenschifffahrt ist eine Erweiterung in Bezug auf Energieverbrauch bzw. Treibstoffverbrauch und –kosten möglich. Hierbei muss auf die unterschiedliche Fließrichtung der Wasserstraßen geachtet werden, welche ohnehin bereits berechnet wird. Anhand der Eingabe eines Durchschnittsverbrauchs bei einer bestimmten Durchschnittsgeschwindigkeit können dann die Verbrauchswerte berechnet werden. Mit Eingabe von Kosten für z.B. jeden Streckenkilometer oder lediglich für den Treibstoff können die gesamten Transportkosten ermittelt werden.

Für die Routenplanung im kombinierten Verkehr ist die Erweiterung der Verkehrsträger Straße und Schiene nötig. Dadurch kann dann jeder Ort ausgewählt werden und als Ergebnis wird, je nach Schwerpunkt, die günstigste, kürzeste, schnellste oder umweltfreundlichste Route berechnet. Hierbei ist es notwendig, das Schienen- und Straßennetz in das Tool zu integrieren. Für den Umschlag zwischen den Verkehrsträgern sind Umschlaghäfen notwendig, die ebenfalls Inhalt des Tools sein müssen. Als Ausgabe können dann Informationen zu den betroffenen Umschlagplätzen wie Umschlagszeiten oder besondere Auflagen erstellt werden.

Je nach Bedarf und Anforderung an das Tool, können noch deutlich mehr Funktionen implementiert werden. Hierfür ist lediglich etwas Kenntnis im Bereich der VBA-Programmierung notwendig.

5 Schlussfolgerung und Zusammenfassung

Kern der Arbeit war, mit Hilfe von Microsoft Excel ein Routenplanungstool für die europäische Binnenschifffahrt zu entwickeln. Hierfür war ein Anforderungskatalog an das Tool gestellt, welcher in jedem Fall erfüllt sein soll. Weitere Anforderungen können jedoch auch implementiert werden.

In einem ersten Schritt wurden einige theoretische Grundlagen im Bereich der Binnenschifffahrt erarbeitet. Hierbei wurde zum einen auf die Wasserstraßen und die Wasserstraßenklassen genauer eingegangen, zum anderen wurden Grundlagen über die Routenplanung allgemein und der grundlegende Aufbau eines Routenplanungstools erörtert. Mit Hilfe eines Vergleichs von bereits bestehenden Tools wurden weitere Funktionen für ein neues Tool abgeleitet.

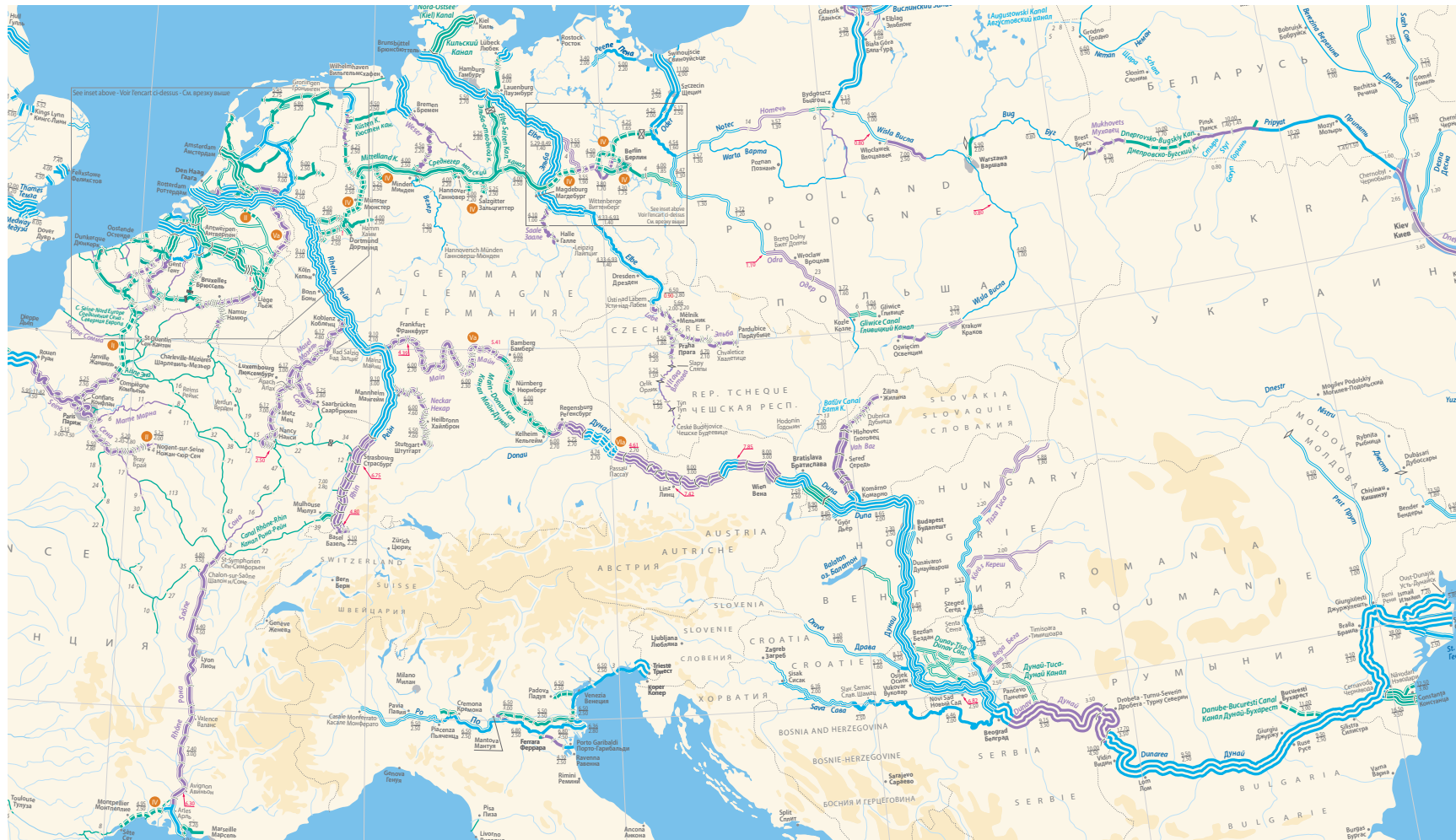
Im zweiten Schritt wurde das Tool in Excel mit Hilfe von VBA programmiert. Hierbei wurde eine Datenbank mit den benötigten Informationen wie Distanzen, Flüsse, Schleusen usw. in verschiedenen Excel-Sheets aufgebaut. Auf diese kann das Makro zugreifen und die gewünschten Routen berechnen und die dazugehörigen Informationen abrufen. Der genaue Aufbau und die Funktionsweise des Tools wurden anhand eines Beispiels Schritt für Schritt im zweiten Teil der Arbeit erklärt.

Mit Hilfe des Routenplanungstools können aus einer Liste von europäischen Binnenhäfen ein Start- und ein Zielhafen ausgewählt werden. Zusätzlich werden Informationen wie die Durchschnittsgeschwindigkeit des Schiffes, die erwarteten Zeiten pro Schleusendurchgang und zusätzliche eventuell auftretende Zeiten abgefragt. Nach der Berechnung der Route werden die Informationen in einer Excel-Tabelle ausgegeben. Hierbei werden neben der Gesamtstrecke, Gesamtzeit, niedrigste Wasserstraßenklasse und Gesamtanzahl der Schleusen auch die Informationen jeweils für die befahrenen Flüsse gesondert aufgelistet. Zusätzlich wird jeweils die Strecke bezogen auf die Fließrichtung der Flüsse ausgegeben. Diese Information ist für den Energiebedarf interessant, da dieser je nach Fließrichtung variieren kann. Neben einer einfachen Berechnung, gibt es auch eine Variante des Tools, in dem zwei Routenberechnungen parallel ausgeführt werden können und somit die Ergebnisse direkt innerhalb des Excel Sheets verglichen werden können.

Da das Tool mit Hilfe von VBA bzw. Excel erstellt ist, können leicht Veränderungen vorgenommen werden. Je nach Bedarf kann das Tool um weitere Funktionen erweitert werden oder auch die Datenbank kann mit zusätzlichen Informationen noch umfangreicher gestaltet werden. Somit ist durch das Routenplanungstool eine flexible Lösung für die Binnenschifffahrt entstanden, mit dessen Hilfe routenbezogene Informationen zwischen zwei Häfen innerhalb der europäischen Binnenschifffahrt ermittelt werden können.

6 Anhang

6.1 Übersichtskarte Wasserstraßennetz Europa



6.2 VBA-Code des Routenplanungstools

6.2.1 Modul: Makrosteuerung

Option Explicit

' **Neuer Type für die Ausgabe der geforderten Informationen**

Public Type Information

Fluss As String

Strecke As Variant

Schleusen As Integer

Zeit As Variant

Klasse As Variant

End Type

Public Error As Boolean

' **Mit diesem Sub wird das komplette Makro gestartet und es ist der Ablauf darin hinterlegt**

Sub MakroStart1()

' **1. Parameter aus dem Eingabefeld deklarieren**

Dim Start As String

Dim Ziel As String

Dim Geschwindigkeit As Double

Dim SchleusenZeit As Double

Dim SonstigeZeit As Variant

Start = Worksheets("UserForm").Range("D3").Value

Ziel = Worksheets("UserForm").Range("D5").Value

Geschwindigkeit = Worksheets("UserForm").Range("D8").Value

SchleusenZeit = Worksheets("UserForm").Range("D9") / 60

SonstigeZeit = Worksheets("UserForm").Range("D10")

' **2. Prüfen, ob Berechnung überhaupt Möglich ist! In Frankreich gibt es eine Wasserstraße auf der Rhône, welche mit den restlichen Wasserstraßen (noch) nicht Verbunden ist. Um eine Fehlermeldung zu vermeiden wird dies vor der Routenberechnung überprüft.**

Dim Prüfen1 As Boolean

Prüfen1 = Funktionen.getPrüfen1(Start, Ziel)

If Prüfen1 = False Then

MsgBox "Es liegt keine durchgehende Verbindung zwischen Start- und Zielhafen vor." _
& vbCrLf & "Bitte Auswahl überprüfen!", vbOKOnly, "Fehlermeldung!"

Exit Sub

Else

End If

Dim Prüfen2 As Boolean

Prüfen2 = Funktionen.getPrüfen2(Start, Ziel)

If Prüfen2 = True Then

MsgBox "Starthafen und Zielhafen sind identisch." & vbCrLf & _
"Routenberechnung ist nicht möglich." & vbCrLf & _
"Bitte Auswahl überprüfen!", vbOKOnly, "Fehlermeldung!"

Exit Sub

Else

End If

If Geschwindigkeit <= 0 Then

MsgBox "Bitte eine gültige Geschwindigkeit eingeben!", vbOKOnly, "Fehlermeldung!"

Exit Sub

End If

' 3. Distanzmatrix ermitteln und ausgeben

Dim Distanzmatrix As Range

Set Distanzmatrix = Sheetmanager.getDistanzmatrix

' 4. Flussmatrix ermitteln und ausgeben

Dim Flussmatrix As Range

Set Flussmatrix = Sheetmanager.getFlussmatrix

' 5. Schleusenmatrix ermitteln und ausgeben

Dim Schleusenmatrix As Range

Set Schleusenmatrix = Sheetmanager.getSchleusenmatrix

' 6. Klassenmatrix ermitteln und ausgeben

Dim Klassenmatrix As Range

Set Klassenmatrix = Sheetmanager.getKlassenmatrix

' 7. Richtungsmatrix ermitteln und ausgeben

Dim Richtungsmatrix As Range

Set Richtungsmatrix = Sheetmanager.getRichtungsmatrix

' 8. Index des Start- und Zielknotens ermitteln

Dim Auswahl() As Integer

Auswahl = Sheetmanager.getStartZiel(Start, Ziel)

' 9. Dijkstra Algorithmus zur Berechnung der kürzesten Strecke. Dabei werden die gewählten**' Knotenindizes in der korrekten Reihenfolge abgespeichert**

Dim Ergebnis() As Integer

Ergebnis = DijkstraAlgorithmus.getGesamtStrecke(Distanzmatrix, Auswahl(0), Auswahl(1))

' 10. Befahrene Flüsse ermitteln und in einem Array abspeichern

Dim FlussArray() As Variant

FlussArray = Funktionen.getFlüsse(Flussmatrix, Ergebnis)

' 11. Strecke pro Abschnitt ermitteln und in einem Array abspeichern

Dim StreckenArray() As Variant

StreckenArray = Funktionen.getStrecken(Distanzmatrix, Ergebnis)

' 12. Anzahl der Schleusen je Teilabschnitt ermitteln

Dim SchleusenArray() As Variant

SchleusenArray = Funktionen.getSchleusen(Schleusenmatrix, Ergebnis)

' 13. Wasserstraßenklasse ermitteln

Dim KlassenArray() As Variant

KlassenArray = Funktionen.getKlassen(Klassenmatrix, Ergebnis)

' 14. Richtung ermitteln

Dim RichtungsArray() As Variant

RichtungsArray = Funktionen.getRichtung(Richtungsmatrix, Distanzmatrix, Ergebnis)

' 15. Anhand des FlussArrays und des StreckenArrays wird ein gesamt Array erstellt. Dabei werden**' indentische Flüsse zusammengefasst, die bezogene Strecke und Geschwindigkeit berechnet**

Dim GesamtArray() As Information

GesamtArray() = Funktionen.getGesamtArray(FlussArray, StreckenArray, SchleusenArray, KlassenArray, Geschwindigkeit)

' 16. Schleusenzeiten berechnen

Dim GesamtSchleusenzeit As Variant

```

GesamtSchleusenzeit = (GesamtArray(0).Schleusen * SchleusenZeit)

' 17. Gesamte Zeit berechnen
Dim Gesamtdauer As Variant
Gesamtdauer = GesamtArray(0).Zeit + GesamtSchleusenzeit + SonstigeZeit

' 18. Ausgabe in einer Tabelle
Dim Tabelle As Integer
Tabelle = MsgBox("Ausgabe im Excelsheet?" & vbCrLf & vbCrLf & "Achtung: Kann ein paar Sekunden dauern!", vbYesNo, "Hinweis!")

If Tabelle = vbNo Then
    Exit Sub
Else
    Sheetmanager.printResults1 GesamtArray, GesamtSchleusenzeit, SonstigeZeit, Gesamtdauer,
    RichtungsArray
End If

End Sub

```

6.2.2 Modul: Dijkstra's Algorithmus

Option Explicit

' Neuen Datentyp definieren, um die benötigten Knoteninformationen zu speichern

```

Private Type Knoten
    nr As Integer
    distanz As Integer
    vorgänger As Integer
    besucht As Boolean
End Type

```

' Die gesammelten Daten werden in einem Array gespeichert

```

Private KnotenArray() As Knoten

```

' Funktion, um den kürzesten Weg zwischen Start und Ziel zu ermitteln und auszugeben. Dabei werden die

' Parameter Distanzmatrix

' Start- und Zielindex übergeben

' Ablauf in Anlehnung an "Algorithmen und Datenstrukturen von Weicker Seite 122"

```

Public Function getGesamtStrecke(Matrix As Range, ByVal StartIndex As Integer, ByVal ZielIndex As Integer) As Integer()

```

' allgemeine Variablen deklarieren

```

Dim i As Integer
Dim Knotenanzahl As Integer
    Knotenanzahl = Matrix.EntireColumn.Count
Dim xKnoten As Knoten
Dim infinity As Integer
    infinity = 25000

```

' 1. Knoten initialisieren

```

ReDim KnotenArray(Knotenanzahl - 1) As Knoten
For i = 0 To UBound(KnotenArray)
    xKnoten.nr = i
    xKnoten.distanz = infinity
    xKnoten.besucht = False

```

' variabler Zähler für die verschiedenen Indizes
' Anzahl der vorhandenen Knoten wird anhand der übergebenen Matrix ermittelt

' variabler Knoten
' "unendlich" große Distanz

```

    xKnoten.vorgänger = -1
    KnotenArray(i) = xKnoten
  Next i

```

```

KnotenArray(StartIndex).distanz = 0

```

' 2. Überprüfen, ob noch unbesuchte Knoten vorhanden sind

```

Do While getKnotenVorhanden And Not (KnotenArray(ZiellIndex).besucht)

```

' 3. Knoten mit dem geringsten Abstand ermitteln

```

  Dim NächsterKnoten As Integer
  NächsterKnoten = getNextKnoten

```

' 4. den gerade betrachteten Knoten auf besucht setzen

```

  KnotenArray(NächsterKnoten).besucht = True

```

' 5. den aktuellen minimalen Abenstand berechnen

```

  For i = 0 To UBound(KnotenArray)
  If (Not KnotenArray(i).besucht) Then

```

```

    Dim Strecke As Integer
    Strecke = infinity

```

```

    If (IsNumeric(Matrix(NächsterKnoten + 1, i + 1))) Then
      If (CInt(Matrix(NächsterKnoten + 1, i + 1)) > 0) Then
        Strecke = KnotenArray(NächsterKnoten).distanz + CInt(Matrix(NächsterKnoten + 1, i + 1))
      End If
    End If

```

```

    If Strecke < KnotenArray(i).distanz Then
      KnotenArray(i).distanz = Strecke
      KnotenArray(i).vorgänger = NächsterKnoten
    End If

```

```

  End If
Next i

```

```

Loop

```

' 6. Rückgabearray zusammenbauen

```

  getGesamtStrecke = getRückgabeArray(ZiellIndex)

```

```

End Function

```

' 2. Funktion: getKnotenVorhanden

```

Public Function getKnotenVorhanden() As Boolean

```

```

  Dim Vorhanden As Boolean
  Vorhanden = False
  Dim i As Integer
  Dim infinity
  infinity = 25000

```

```

  For i = 0 To UBound(KnotenArray)
  If KnotenArray(i).distanz < infinity And Not KnotenArray(i).besucht Then
    Vorhanden = True
  End If
  Next i

```

```

getKnotenVorhanden = Vorhanden

```

End Function

' 3. Funktion: getNextenKnoten

```
Public Function getNextenKnoten() As Integer
    Dim infinity As Integer
    infinity = 15000
    Dim minimumWert As Integer
    minimumWert = infinity
    Dim NächsterKnoten As Integer
    NächsterKnoten = -1
    Dim i As Integer

    For i = 0 To UBound(KnotenArray)
        If (Not KnotenArray(i).besucht) And (KnotenArray(i).distanz < minimumWert) Then
            minimumWert = KnotenArray(i).distanz
            NächsterKnoten = i
        End If
    Next i

    getNextenKnoten = NächsterKnoten

End Function
```

' 6. RückgabeArray

```
Public Function getRückgabeArray(Ziel As Integer) As Integer()
    Dim ErgebnisArray() As Integer
    ReDim ErgebnisArray(1) As Integer

    ErgebnisArray(1) = KnotenArray(Ziel).nr

    Do While KnotenArray(Ziel).vorgänger <> -1
        ReDim Preserve ErgebnisArray(UBound(ErgebnisArray) + 1) As Integer
        Dim i As Integer
        For i = (UBound(ErgebnisArray) - 1) To 1 Step -1
            ErgebnisArray(i + 1) = ErgebnisArray(i)
        Next i

        Ziel = KnotenArray(Ziel).vorgänger
        ErgebnisArray(1) = KnotenArray(Ziel).nr
    Loop

    getRückgabeArray = ErgebnisArray

End Function
```

6.2.3 Modul: Sheetmanager

' Funktion, um die Diszanzmatrix aufzuspannen und an die Makrosteuerung zu übergeben

```
Public Knotenanzahl As Integer
Public Function getDistanzmatrix() As Range

    ' Zelle mit dem Wert "D_ij" finden
    Dim FixPunkt As Range
```

```
Set FixPunkt = Worksheets("Distanzmatrix").Range("A1:C50").Find("D_ij")
```

' Anzahl der vorhandenen Knoten ermitteln

```
Dim Knotenanzahl As Integer
```

```
Knotenanzahl = 0
```

```
Do While Worksheets("Distanzmatrix").Cells(FixPunkt.Row, FixPunkt.Column + 1 + Knotenanzahl) <> ""
```

```
Knotenanzahl = Knotenanzahl + 1
```

```
Loop
```

' Eckpunkte der Matrix definieren

```
Dim StartZelle As Range
```

```
Dim EndZelle As Range
```

```
Set StartZelle = Worksheets("Distanzmatrix").Cells(FixPunkt.Row + 1, FixPunkt.Column + 1)
```

```
Set EndZelle = Worksheets("Distanzmatrix").Cells(FixPunkt.Row + Knotenanzahl, FixPunkt.Column + Knotenanzahl)
```

' Ausgabe der Distanzmatrix

```
Set getDistanzmatrix = Range(StartZelle, EndZelle)
```

```
End Function
```

' Funktion um Flussmatrix zu ermitteln

```
Public Function getFlussmatrix() As Range
```

' Zelle mit dem Wert "D_ij" finden

```
Dim FixPunkt As Range
```

```
Set FixPunkt = Worksheets("Flussmatrix").Range("A1:C50").Find("D_ij")
```

' Anzahl der vorhandenen Knoten ermitteln

```
Dim Knotenanzahl As Integer
```

```
Knotenanzahl = 0
```

```
Do While Worksheets("Flussmatrix").Cells(FixPunkt.Row, FixPunkt.Column + 1 + Knotenanzahl) <> ""
```

```
Knotenanzahl = Knotenanzahl + 1
```

```
Loop
```

' Eckpunkte der Matrix definieren

```
Dim StartZelle As Range
```

```
Dim EndZelle As Range
```

```
Set StartZelle = Worksheets("Flussmatrix").Cells(FixPunkt.Row + 1, FixPunkt.Column + 1)
```

```
Set EndZelle = Worksheets("Flussmatrix").Cells(FixPunkt.Row + Knotenanzahl, FixPunkt.Column + Knotenanzahl)
```

' Ausgabe der Flussmatrix

```
Set getFlussmatrix = Range(StartZelle, EndZelle)
```

```
End Function
```

' Funktion, um den Index des Start- und Zielhafens aus dem Excelsheet zu ermitteln

```
Public Function getStartZiel(Start As String, Ziel As String) As Integer()
```

```
Dim SI As Integer ' StartIndex
```

```
Dim Zi As Integer ' ZiellIndex
```

```
SI = 0
```

```
Zi = 0
```

```
Dim FixPunkt As Range
```

```
Set FixPunkt = Worksheets("Distanzmatrix").Range("A1:Z50").Find("D_ij")
```

```
SI = 0
```

```
Do While Worksheets("Distanzmatrix").Cells(FixPunkt.Row + SI + 1, FixPunkt.Column) <> Start
```

```
SI = SI + 1
```



```

Loop

Zi = 0
Do While Worksheets("Distanzmatrix").Cells(FixPunkt.Row + Zi + 1, FixPunkt.Column) <> Ziel
    Zi = Zi + 1
Loop

Dim StartZiel(1) As Integer
StartZiel(0) = SI
StartZiel(1) = Zi

getStartZiel = StartZiel
End Function

' Funktion um Schleusenmatrix zu ermittel
Public Function getSchleusenmatrix() As Range

' Zelle mit dem Wert "D_ij" finden
Dim FixPunkt As Range
Set FixPunkt = Worksheets("Schleusenmatrix").Range("A1:C50").Find("D_ij")

' Anzahl der vorhandenen Knoten ermitteln
Dim Knotenanzahl As Integer
Knotenanzahl = 0
Do While Worksheets("Schleusenmatrix").Cells(FixPunkt.Row, FixPunkt.Column + 1 + Knotenanzahl)
<> ""
    Knotenanzahl = Knotenanzahl + 1
Loop

' Eckpunkte der Matrix definieren
Dim StartZelle As Range
Dim EndZelle As Range
Set StartZelle = Worksheets("Schleusenmatrix").Cells(FixPunkt.Row + 1, FixPunkt.Column + 1)
Set EndZelle = Worksheets("Schleusenmatrix").Cells(FixPunkt.Row + Knotenanzahl,
FixPunkt.Column + Knotenanzahl)

' Ausgabe der Schleusenmatrix
Set getSchleusenmatrix = Range(StartZelle, EndZelle)
End Function

' Funktion um Klassenmatrix zu ermitteln
Public Function getKlassenmatrix() As Range

' Zelle mit dem Wert "D_ij" finden
Dim FixPunkt As Range
Set FixPunkt = Worksheets("Klassenmatrix").Range("A1:C50").Find("D_ij")

' Anzahl der vorhandenen Knoten ermitteln
Dim Knotenanzahl As Integer
Knotenanzahl = 0
Do While Worksheets("Klassenmatrix").Cells(FixPunkt.Row, FixPunkt.Column + 1 + Knotenanzahl) <>
""
    Knotenanzahl = Knotenanzahl + 1
Loop

' Eckpunkte der Matrix definieren
Dim StartZelle As Range

```

```

    Dim EndZelle As Range
    Set StartZelle = Worksheets("Klassenmatrix").Cells(FixPunkt.Row + 1, FixPunkt.Column + 1)
    Set EndZelle = Worksheets("Klassenmatrix").Cells(FixPunkt.Row + Knotenanzahl, FixPunkt.Column
+ Knotenanzahl)

```

' Ausgabe der Klassenmatrix

```

    Set getKlassenmatrix = Range(StartZelle, EndZelle)
End Function

```

' Funktion um Richtungsmatrix zu ermitteln

```

Public Function getRichtungsmatrix() As Range

```

' Zelle mit dem Wert "D_ij" finden

```

    Dim FixPunkt As Range
    Set FixPunkt = Worksheets("Richtungsmatrix").Range("A1:C50").Find("D_ij")

```

' Anzahl der vorhandenen Knoten ermitteln

```

    Dim Knotenanzahl As Integer
    Knotenanzahl = 0
    Do While Worksheets("Richtungsmatrix").Cells(FixPunkt.Row, FixPunkt.Column + 1 + Knotenanzahl)
<> ""
        Knotenanzahl = Knotenanzahl + 1
    Loop

```

' Eckpunkte der Matrix definieren

```

    Dim StartZelle As Range
    Dim EndZelle As Range
    Set StartZelle = Worksheets("Richtungsmatrix").Cells(FixPunkt.Row + 1, FixPunkt.Column + 1)
    Set EndZelle = Worksheets("Richtungsmatrix").Cells(FixPunkt.Row + Knotenanzahl,
FixPunkt.Column + Knotenanzahl)

```

' Ausgabe der Klassenmatrix

```

    Set getRichtungsmatrix = Range(StartZelle, EndZelle)
End Function

```

' Stellt die Ergebnisse der Berechnung unterhalb der Distanzmatrix dar

```

Public Sub printResults1(GesamtArray() As Information, GesamtSchleusenzeit As Variant, SonstigeZeit As
Variant, Gesamtdauer As Variant, RichtungsArray() As Variant)

```

' Zeile und Spalte fuer die Ergebnisse bestimmen

```

    Dim Orientierung As Range
    Set Orientierung = Worksheets("UserForm").Range("A1:Z50").Find("Routeninformation")

```

```

    Dim startRow As Integer
    Dim startCol As Integer
    startRow = Orientierung.Row + 2
    startCol = Orientierung.Column

```

' Alte Daten loeschen

```

    Dim i, j As Integer
    For i = 0 To 20
        For j = 0 To 30
            Cells(startRow + i, startCol + j) = ""
        Next j
    Next i
    Range(Cells(startRow - 1, startCol), Cells(startRow + 20, startCol + 30)).MergeCells = False
    Range(Cells(startRow - 1, startCol), Cells(startRow + 20, startCol + 30)).Borders.LineStyle = xlNone
    Range(Cells(startRow - 1, startCol), Cells(startRow + 20, startCol + 30)).NumberFormat = "General"

```

```
Cells(startRow - 1, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow - 1, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
Cells(startRow - 1, startCol).Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow - 1, startCol).Borders(xlEdgeTop).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow, startCol) = "Flüsse"
Cells(startRow, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
Cells(startRow, startCol).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow, startCol).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
Cells(startRow, startCol + 1).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow, startCol + 1).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 1, startCol) = "Wasserstraßenklasse"
Cells(startRow + 1, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 1, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 1, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 1, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 1, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 1, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 2, startCol) = "Strecke in [km]"
Cells(startRow + 2, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 2, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 2, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 2, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 2, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 2, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 3, startCol) = "Zeit in [hh:mm]"
Cells(startRow + 3, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 3, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 3, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 3, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 3, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 3, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 4, startCol) = "Anzahl Schleusen"
Cells(startRow + 4, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 4, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 4, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 4, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 4, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 4, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 5, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 5, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 5, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 5, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 6, startCol) = "Strecken in Fließrichtung in [km]"
Cells(startRow + 6, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 6, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 6, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 6, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 6, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 6, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 6, startCol).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 6, startCol).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 6, startCol).Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 6, startCol).Borders(xlEdgeTop).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 6, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 6, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 6, startCol + 1).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 6, startCol + 1).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 6, startCol + 1).Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 6, startCol + 1).Borders(xlEdgeTop).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 7, startCol) = "Frei fließender Fluss: Bergfahrt"
Cells(startRow + 7, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 7, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 7, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 7, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 7, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 7, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 8, startCol) = "Frei fließender Fluss: Talfahrt"
Cells(startRow + 8, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 8, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 8, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 8, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 8, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 8, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 9, startCol) = "Kanal"
Cells(startRow + 9, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 9, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 9, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 9, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 9, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 9, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 10, startCol) = "Kanalisiertes Fluss: Bergfahrt"
Cells(startRow + 10, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 10, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 10, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 10, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 10, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 10, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 11, startCol) = "Kanalisiertes Fluss: Talfahrt"
Cells(startRow + 11, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 11, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 11, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 11, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 11, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 11, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 12, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 12, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 12, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 12, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 13, startCol) = "Zeiten in [hh:mm]"
Cells(startRow + 13, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 13, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 13, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 13, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 13, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 13, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 13, startCol).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 13, startCol).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 13, startCol).Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 13, startCol).Borders(xlEdgeTop).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 13, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 13, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 13, startCol + 1).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 13, startCol + 1).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 13, startCol + 1).Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 13, startCol + 1).Borders(xlEdgeTop).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 14, startCol) = "Schleusenzeit"
Cells(startRow + 14, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 14, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 14, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 14, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 14, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 14, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 15, startCol) = "Sonstige Zeit"
Cells(startRow + 15, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 15, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 15, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 15, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 15, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 15, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 16, startCol) = "Gesamte Dauer"
Cells(startRow + 16, startCol).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 16, startCol).Font.Bold = True
Cells(startRow + 16, startCol).Font.Size = 12
Cells(startRow + 16, startCol).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow + 16, startCol).Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 16, startCol).Borders(xlEdgeLeft).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 16, startCol).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 16, startCol).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow - 1, startCol + 1) = "Gesamt"
Cells(startRow - 1, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow - 1, startCol + 1).Font.Bold = True
Cells(startRow - 1, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow - 1, startCol + 1).EntireColumn.AutoFit
Cells(startRow - 1, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow - 1, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow - 1, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
Cells(startRow - 1, startCol + 1).Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlContinuous
```

```
Cells(startRow - 1, startCol + 1).Borders(xlEdgeTop).Weight = xlMedium
Cells(startRow - 1, startCol + 1).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow - 1, startCol + 1).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium
Cells(startRow - 1, startCol).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow - 1, startCol).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 1, startCol + 1) = GesamtArray(0).Klasse
Cells(startRow + 1, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 1, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow + 1, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 1, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 1, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 1, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 2, startCol + 1) = GesamtArray(0).Strecke
Cells(startRow + 2, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 2, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow + 2, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 2, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 2, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 2, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 3, startCol + 1) = Funktionen.getStunden(GesamtArray(0).Zeit)
Cells(startRow + 3, startCol + 1).NumberFormat = ("[h]:mm")
Cells(startRow + 3, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 3, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow + 3, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 3, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 3, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 3, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 4, startCol + 1) = GesamtArray(0).Schleusen
Cells(startRow + 4, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 4, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow + 4, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 4, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 4, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 4, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 7, startCol + 1) = RichtungsArray(2)
Cells(startRow + 7, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 7, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow + 7, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 7, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 7, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 7, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 8, startCol + 1) = RichtungsArray(1)
Cells(startRow + 8, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 8, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow + 8, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 8, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 8, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 8, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
```

```
Cells(startRow + 9, startCol + 1) = RichtungsArray(3)
Cells(startRow + 9, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 9, startCol + 1).Font.Size = 12
```

```
Cells(startRow + 9, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 9, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 9, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 9, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium

Cells(startRow + 10, startCol + 1) = RichtungsArray(5)
Cells(startRow + 10, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 10, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow + 10, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 10, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 10, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 10, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium

Cells(startRow + 11, startCol + 1) = RichtungsArray(4)
Cells(startRow + 11, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 11, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow + 11, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 11, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 11, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 11, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium

Cells(startRow + 14, startCol + 1) = Funktionen.getStunden(GesamtSchleusenzeit)
Cells(startRow + 14, startCol + 1).NumberFormat = ("[h]:mm")
Cells(startRow + 14, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 14, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow + 14, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 14, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 14, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 14, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium

Cells(startRow + 15, startCol + 1) = Funktionen.getStunden(SonstigeZeit)
Cells(startRow + 15, startCol + 1).NumberFormat = ("[h]:mm")
Cells(startRow + 15, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 15, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow + 15, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 15, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 15, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 15, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium

Cells(startRow + 16, startCol + 1) = Funktionen.getStunden(Gesamtdauer)
Cells(startRow + 16, startCol + 1).NumberFormat = ("[h]:mm")
Cells(startRow + 16, startCol + 1).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 16, startCol + 1).Font.Size = 12
Cells(startRow + 16, startCol + 1).Font.Bold = False
Cells(startRow + 16, startCol + 1).HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(startRow + 16, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 16, startCol + 1).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
Cells(startRow + 16, startCol + 1).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 16, startCol + 1).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium

For i = 1 To UBound(GesamtArray)
    Cells(startRow, startCol + 1 + i) = GesamtArray(i).Fluss
    Cells(startRow, startCol + 1 + i).Font.Name = "Arial"
    Cells(startRow, startCol + 1 + i).Font.Size = 12
    Cells(startRow, startCol + 1 + i).Font.Bold = True
    Cells(startRow, startCol + 1 + i).HorizontalAlignment = xlCenter
    Cells(startRow, startCol + 1 + i).EntireColumn.AutoFit
    Cells(startRow, startCol + 1 + i).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
```

```
Cells(startRow, startCol + 1 + i).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium

Cells(startRow + 1, startCol + 1 + i) = GesamtArray(i).Klasse
Cells(startRow + 1, startCol + 1 + i).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 1, startCol + 1 + i).Font.Size = 12
Cells(startRow + 1, startCol + 1 + i).Font.Bold = False
Cells(startRow + 1, startCol + 1 + i).HorizontalAlignment = xlCenter

Cells(startRow + 2, startCol + 1 + i) = GesamtArray(i).Strecke
Cells(startRow + 2, startCol + 1 + i).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 2, startCol + 1 + i).Font.Size = 12
Cells(startRow + 2, startCol + 1 + i).Font.Bold = False
Cells(startRow + 2, startCol + 1 + i).HorizontalAlignment = xlCenter

Cells(startRow + 3, startCol + 1 + i) = Funktionen.getStunden(GesamtArray(i).Zeit)
Cells(startRow + 3, startCol + 1 + i).NumberFormat = ("[h]:mm")
Cells(startRow + 3, startCol + 1 + i).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 3, startCol + 1 + i).Font.Size = 12
Cells(startRow + 3, startCol + 1 + i).Font.Bold = False
Cells(startRow + 3, startCol + 1 + i).HorizontalAlignment = xlCenter

Cells(startRow + 4, startCol + 1 + i) = GesamtArray(i).Schleusen
Cells(startRow + 4, startCol + 1 + i).Font.Name = "Arial"
Cells(startRow + 4, startCol + 1 + i).Font.Size = 12
Cells(startRow + 4, startCol + 1 + i).Font.Bold = False
Cells(startRow + 4, startCol + 1 + i).HorizontalAlignment = xlCenter

Cells(startRow + 16, startCol + 1 + i).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Cells(startRow + 16, startCol + 1 + i).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium
Next i

Range(Cells(startRow - 1, startCol + 2), Cells(startRow - 1, startCol + 1 + UBound(GesamtArray))).MergeCells =
True
Range(Cells(startRow - 1, startCol + 2), Cells(startRow - 1, startCol + 1 + UBound(GesamtArray))) =
"Teilstrecken"
Range(Cells(startRow - 1, startCol + 2), Cells(startRow - 1, startCol + 1 + UBound(GesamtArray))).Font.Bold =
True
Range(Cells(startRow - 1, startCol + 2), Cells(startRow - 1, startCol + 1 +
UBound(GesamtArray))).HorizontalAlignment = xlCenter
Range(Cells(startRow - 1, startCol + 2), Cells(startRow - 1, startCol + 1 +
UBound(GesamtArray))).Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlContinuous
Range(Cells(startRow - 1, startCol + 2), Cells(startRow - 1, startCol + 1 +
UBound(GesamtArray))).Borders(xlEdgeTop).Weight = xlMedium
Range(Cells(startRow - 1, startCol + 2), Cells(startRow - 1, startCol + 1 +
UBound(GesamtArray))).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Range(Cells(startRow - 1, startCol + 2), Cells(startRow - 1, startCol + 1 +
UBound(GesamtArray))).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium
Range(Cells(startRow - 1, startCol + 2), Cells(startRow - 1, startCol + 1 +
UBound(GesamtArray))).Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
Range(Cells(startRow - 1, startCol + 2), Cells(startRow - 1, startCol + 1 +
UBound(GesamtArray))).Borders(xlEdgeBottom).Weight = xlMedium
Range(Cells(startRow, startCol + UBound(GesamtArray)), Cells(startRow + 16, startCol + 1 +
UBound(GesamtArray))).Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
Range(Cells(startRow, startCol + UBound(GesamtArray)), Cells(startRow + 16, startCol + 1 +
UBound(GesamtArray))).Borders(xlEdgeRight).Weight = xlMedium

Range("A1").Select
End Sub
```


6.2.4 Modul: Funktionen

' Funktion, um zu überprüfen, ob Routen berechnung möglich ist, bzw. eine Verbindung zwischen Start und Ziel vorliegt

```
Public Function getPrüfen1(Start As String, Ziel As String) As Boolean
```

```
    Dim Vorhanden As Boolean
```

```
    Dim St As Boolean
```

```
    Dim Zi As Boolean
```

```
    Dim i As Integer
```

```
    Dim j As Integer
```

```
    Dim FRoute(8) As String
```

```
    FRoute(0) = "Saint-Symphorien-sur-Saône"
```

```
    FRoute(1) = "Aproport, Chalon-sur-Saône"
```

```
    FRoute(2) = "Aproport, Mâcon"
```

```
    FRoute(3) = "Aproport, Villefranche-sur-Saône"
```

```
    FRoute(4) = "Lyon"
```

```
    FRoute(5) = "Arles (Fourques)"
```

```
    FRoute(6) = "Fos via the Rhône"
```

```
    FRoute(7) = "Sète"
```

```
    For i = 0 To 7
```

```
        If Start = FRoute(i) Then
```

```
            St = True
```

```
            Exit For
```

```
        Else
```

```
            St = False
```

```
        End If
```

```
    Next i
```

```
    For j = 0 To 7
```

```
        If Ziel = FRoute(j) Then
```

```
            Zi = True
```

```
            Exit For
```

```
        Else
```

```
            Zi = False
```

```
        End If
```

```
    Next j
```

```
    If St = True And Zi = True Then
```

```
        Vorhanden = True
```

```
    ElseIf St = True And Zi = False Then
```

```
        Vorhanden = False
```

```
    ElseIf St = False And Zi = True Then
```

```
        Vorhanden = False
```

```
    ElseIf St = False And Zi = False Then
```

```
        Vorhanden = True
```

```
    End If
```

```
    getPrüfen1 = Vorhanden
```

```
End Function
```

' Funktion um zu überprüfen, ob Start- und Zielhafen identisch sind

```
Public Function getPrüfen2(Start As String, Ziel As String) As Boolean
```

```
    Dim identisch As Boolean
```

```
    If Start = Ziel Then
```

```
        identisch = True
```

```
    Else
```

```
        identisch = False
```

```
    End If
```

```
    getPrüfen2 = identisch
End Function
```

' Funktion um Array der Strecken zu erstellen

```
    Public Function getStrecken(DMatrix As Range, Weg() As Integer) As Variant()
        Dim i As Integer
        Dim Strecke() As Variant

        For i = 2 To UBound(Weg)
            ReDim Preserve Strecke(UBound(Weg))
            Strecke(i) = DMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1)
        Next i

        getStrecken = Strecke
    End Function
```

' Funktion um Array der befahrenen Flüsse zu erstellen

' gibt die Befahrenen Flüsse in der richtigen Reihenfolge wieder

```
    Public Function getFlüsse(FMatrix As Range, Weg() As Integer) As Variant()
        Dim i As Integer
        Dim Flüsse() As Variant

        For i = 2 To UBound(Weg)
            ReDim Preserve Flüsse(UBound(Weg))
            Flüsse(i) = FMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1)
        Next i

        getFlüsse = Flüsse
    End Function
```

' Funktion um Array der befahrenen Schleusen zu erstellen

```
    Public Function getSchleusen(SchMatrix As Range, Weg() As Integer) As Variant()
        Dim i As Integer
        Dim Schleuse() As Variant
        Dim Alt As Integer

        For i = 2 To UBound(Weg)
            ReDim Preserve Schleuse(UBound(Weg))
            Schleuse(i) = SchMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1)
        Next i

        getSchleusen = Schleuse
    End Function
```

' Funktion um Array der Wasserstraßenklassen zu erstellen

```
    Public Function getKlassen(KMatrix As Range, Klassen() As Integer) As Variant()
        Dim i As Integer
        Dim WK() As Variant

        For i = 2 To UBound(Klassen)
            ReDim Preserve WK(UBound(Klassen))
            WK(i) = KMatrix(Klassen(i - 1) + 1, Klassen(i) + 1)
        Next i

        getKlassen = WK
    End Function
```

' Funktion um Array der Richtungen zu erstellen

```
    Public Function getRichtung(RMatrix As Range, DMatrix As Range, Weg() As Integer) As Variant()
        Dim i As Integer
        Dim Richtung(5) As Variant
```

```

Richtung(1) = 0      ' Fluss Talfahrt -> FL-Tal
Richtung(2) = 0      ' Fluss Bergfahrt -> FL-Berg
Richtung(3) = 0      ' Kanal -> Kanal
Richtung(4) = 0      ' kanalsierter Fluss Talfahrt -> KFL-Tal
Richtung(5) = 0      ' kanalsierter Fluss Bergfahrt -> KFL-Berg

```

```

For i = 2 To UBound(Weg)

```

```

    If RMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1).Value = "FL-Tal" Then
        Richtung(1) = Richtung(1) + DMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1)
    ElseIf RMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1).Value = "FL-Berg" Then
        Richtung(2) = Richtung(2) + DMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1)
    ElseIf RMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1).Value = "Kanal" Then
        Richtung(3) = Richtung(3) + DMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1)
    ElseIf RMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1).Value = "KFL-Tal" Then
        Richtung(4) = Richtung(4) + DMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1)
    ElseIf RMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1).Value = "KFL-Berg" Then
        Richtung(5) = Richtung(5) + DMatrix(Weg(i - 1) + 1, Weg(i) + 1)
    End If

```

```

Next i

```

```

getRichtung = Richtung

```

```

End Function

```

' Funktion um ein Gesamtes Array zu erhalten

```

Public Function getGesamtArray(Fluss() As Variant, Strecke() As Variant, Schleuse() As Variant,
    Klassen() As Variant, Geschwindigkeit As Double) As Information()

```

```

    Dim i As Integer
    Dim j As Integer
    Dim Vorhanden As Boolean
    Dim Neu As Integer
    Dim Alt As Integer
    Dim Vergleich As Boolean

```

```

    Dim GesamtArray() As Information

```

```

    ReDim GesamtArray(1) As Information

```

```

    GesamtArray(1).Fluss = Fluss(2)
    GesamtArray(1).Klasse = Klassen(2)

```

```

For i = 2 To UBound(Fluss)
    For j = 1 To UBound(GesamtArray)
        If GesamtArray(j).Fluss = Fluss(i) Then
            Vorhanden = True
            Alt = j
            Exit For
        Else
            Vorhanden = False
        End If
    Next j

```

```

    If Vorhanden = True Then
        Vergleich = GesamtArray(Alt).Klasse > Klassen(i)
        If Vergleich = True Then
            GesamtArray(Alt).Klasse = Klassen(i)
        End If
    End If

```

```

        GesamtArray(Alt).Strecke = GesamtArray(j).Strecke + Strecke(i)
        GesamtArray(Alt).Schleusen = GesamtArray(j).Schleusen + Schleuse(i)
    ElseIf Vorhanden = False Then

```

```
        ReDim Preserve GesamtArray(UBound(GesamtArray) + 1)
        Neu = UBound(GesamtArray)
        GesamtArray(Neu).Fluss = Fluss(i)
        GesamtArray(Neu).Strecke = Strecke(i)
        GesamtArray(Neu).Schleusen = Schleuse(i)
        GesamtArray(Neu).Klasse = Klassen(i)

    End If

Next i
GesamtArray(0).Klasse = GesamtArray(1).Klasse

For j = 1 To UBound(GesamtArray)
    GesamtArray(j).Zeit = GesamtArray(j).Strecke / Geschwindigkeit
    GesamtArray(0).Zeit = GesamtArray(0).Zeit + GesamtArray(j).Zeit

    GesamtArray(0).Schleusen = GesamtArray(0).Schleusen + GesamtArray(j).Schleusen
    GesamtArray(0).Strecke = GesamtArray(0).Strecke + GesamtArray(j).Strecke

    Vergleich = GesamtArray(0).Klasse > GesamtArray(j).Klasse
    If Vergleich = True Then
        GesamtArray(0).Klasse = GesamtArray(j).Klasse
    End If
Next j

getGesamtArray = GesamtArray

End Function

' Funktion, um die Zeiten in Dezimalform in Minuten und Stunden umzurechnen
Public Function getStunden(Time As Variant) As String
    Dim Stunde As Double
    Dim Minute As Double

    Stunde = Fix(Time)
    getStunden = Format(Stunde) & ":" & Right(Format((Time / 24), "hh:mm"), 2)

End Function
```

7 Literaturverzeichnis

- Aigner M.: Graphentheorie, Eine Einführung aus dem 4-Farben Problem, 2. Auflage, Springer-Verlag, Wiesbaden, 2015
- Clausen U., Geiger C.: Verkehrs- und Transportlogistik, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2013
- Düttemeyer G.: WESKA-Europäischer Binnenschiffahrts- und Hafenkalendar, 67. Auflage, Binnenschiffahrtsverlag, Duisburg, 2000
- Martin H.: Transport- und Lagerlogistik, Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik, 9. Auflage, Springer-Verlag, Wiesbaden, 2014
- Mehr F. J., Mehr M. T.: Excel und VBA, Einführung mit praktischen Anwendungen in den Naturwissenschaften, 1. Auflage, Springer-Verlag, Wiesbaden, 2015
- Nahrstedt H.: Excel + VBA für Maschinenbauer, Programmieren erlernen und technische Fragestellungen lösen, 4. Auflage, Springer-Verlag, Wiesbaden, 2014
- Ohrt C.: Tourenplanung im Straßengüterverkehr, 1. Auflage, Gabler-Verlag, Wiesbaden, 2008
- Ortlieb C. P., u.a.: Mathematisch Modellierung, Eine Einführung in zwölf Fallstudien, 1. Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2009
- Ottmann T., Widmayer P.: Algorithmen und Datenstrukturen, 5. Auflage, Spektrum-Verlag, Heidelberg, 2012
- Patt H., Gonsowski P.: Wasserbau, Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen, 7. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2011
- Reif K.: Automobilelektronik, Einführung für Ingenieure, 5. Auflage, Springer-Verlag, Wiesbaden, 2014
- Schuh G., Stich V.: Logistikmanagement, Handbuch Produktion und Management 6, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2013
- Strobl T., Zunic F.: Wasserbau, Aktuelle Grundlagen – Neue Entwicklung, 1. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2006
- Theis T.: Einstieg in VBA mit Excel, 3. Auflage, Galileo Press, Bonn, 2014
- UNECE: Inventory of main standards and parameters of the E waterway network, blue book, 2. Auflage, United Nations Publication, New York and Geneva, 2012
- Vischer D., Huber A.: Wasserbau, Hydrologische Grundlagen, Elemente des Wasserbaus, Nutz- und Schutzbauten an Binnengewässern, 6. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2002

-
- Weicker K., Weicker N.: Algorithmen und Datenstrukturen, 1. Auflage, Springer-Verlag, Wiesbaden, 2013
 - Zilch K., Diederichs C. J., u.a.: Wasserbau, Siedlungswasserwirtschaft, Abfalltechnik, 1. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2013

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung europäischer Gütertransport	3
Abbildung 2: Nachbau der Schiffsgattung "Navis Lusoria" ¹⁰	8
Abbildung 3: Treidelschiffahrt	9
Abbildung 4: Entwicklung Gütertransportaufkommen	11
Abbildung 5: Kraftstoffkostenvergleich	13
Abbildung 6: Verkehrsleistung 2004	15
Abbildung 7: Verkehrsleistung 2025 – Prognose ²⁹	15
Abbildung 8: Peniche- Klasse I	16
Abbildung 9: Europaschiff – Klasse IV	17
Abbildung 10: Wasserstraßen-Klassifizierung	18
Abbildung 11: Motorgüterschiff - Massengut mit Abdeckung	21
Abbildung 12: Schubverband "Veerhaven X"	22
Abbildung 13: Mühlhamer Schleife bei Deggendorf	23
Abbildung 14: Rhein-Herne Kanal	24
Abbildung 15: Wasserstraßenkreuz Magdeburg	26
Abbildung 16: Prinzip der Sparschleuse ⁶²	28
Abbildung 17: Schiffshebewerk Lüneburg	29
Abbildung 18: Typen von Binnenhäfen	31
Abbildung 19: Transportgüter	32
Abbildung 20: Teleskop- und Frontstapler im Einsatz '	33
Abbildung 21: Ruhrort-Duisburg-Häfen	34
Abbildung 22: Routenberechnung - vereinfachter Aufbau	37
Abbildung 23: Geometrischer Inhalt einer digitalen Karte ⁸⁷	39
Abbildung 24: Teilstreckenliste – Ausschnitt ⁹⁹	49
Abbildung 25: Kürzester-Weg Prinzip	50
Abbildung 26: Kürzester-Weg-Beispiel 1	53
Abbildung 27: Kürzester-Weg Beispiel 2	53
Abbildung 28: Kürzester-Weg Beispiel 3	54
Abbildung 29: Kürzester-Weg Beispiel 4	54
Abbildung 30: Kürzester-Weg Beispiel 5	55
Abbildung 31: Kürzester-Weg Beispiel 6	55
Abbildung 32: Kürzester-Weg Beispiel 7	56
Abbildung 33: Distanzmatrix.....	57
Abbildung 34: Aufbau Routenplanungstool	58
Abbildung 35: User-Form des Routenplanungstools.....	59
Abbildung 36: Distanzmatrix.....	60
Abbildung 37: Flussmatrix	61
Abbildung 38: Schleusenmatrix.....	61

Abbildung 39: Klassenmatrix	62
Abbildung 40: Richtungsmatrix.....	63
Abbildung 41: Liste der Häfen	64
Abbildung 42: Makroaufbau	65
Abbildung 43: Auswahl des Landes	66
Abbildung 44: Auswahl Starthafen	66
Abbildung 45: Fehlermeldung-Geschwindigkeit.....	67
Abbildung 46: Fehlermeldung – fehlende Verbindung	68
Abbildung 47: Fehlermeldung - Start und Ziel identisch.....	68
Abbildung 48: Tabellenerstellung bestätigen	68
Abbildung 49: Matrixgröße und Index ermitteln.....	69
Abbildung 50: Funktion des Rückgabearray	71
Abbildung 51: Aufbau des Gesamtarray	72
Abbildung 52: Ausgabe der Routenergebnisse.....	75
Abbildung 53: Routeninformationen in Excel-Tabelle	77

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Durchschnittliche Schleusendauer	30
Tabelle 2: Vergleich bestehender Routenplanungstools	43
Tabelle 3: Vergleich - Routenplanungstools.....	78