



JOWA GERMANY GmbH

**Untersuchungen der Verträglichkeit schwefelarmer
Kraftstoffe (Schwefelanteil kleiner 10 ppm), ggf. mit
biogenem Anteil bei älteren in Betrieb befindlichen
Binnenschiffsmotoren**

Abschlussbericht

FE Vorhaben Nr.30.0331/2007
Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Referat WS26
Robert – Schuman – Platz 1, 53175 Bonn

Projektleitung:

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Referat WS26
Robert – Schuman – Platz 1, 53175 Bonn
Dipl.-Ing. W. Kliche

Projektbearbeitung:

JOWA GERMANY GmbH
Dr. - Ing. R. Moeck

Hohen Luckow, 08 / 2007

Gliederung

Gliederung.....	1
1. Einleitung.....	2
2. Alters- und Leistungsstruktur der in der Binnenschifffahrt eingesetzten Energieanlagen	3
2.1 Dieselmotoren - Hauptantrieb	3
2.2 Hilfsantriebe -Dieselmotoren.....	13
2.3 Kesselanlagen.....	18
3. Analyse einsetzbarer schwefelarmer Kraftstoffe mit Zumischung biogener Kraftstoffkomponenten (RME).....	19
3.1 Schwefelarme, schwefelfreie Kraftstoffe.....	19
3.2 Umsetzung der Qualitäten schwefelarmer, schwefelfreier Kraftstoffe	22
3.3 Biogene Kraftstoffe (RME).....	24
3.4 Zumischung biogener Kraftstoffkomponenten zu Dieseldieselkraftstoffen	28
4. Bewertung der Kraftstoffverträglichkeit in den in der Binnenschifffahrt eingesetzten Energieanlagen	33
4.1 Schwefelarme, schwefelfreie Kraftstoffe.....	34
4.1.1 Motorenanlagen	34
4.1.1.1 Kraftstoffsystem.....	34
4.1.1.2 Verbrennungsprozess	36
4.1.1.3 Abgasemissionen	37
4.1.1.4 Brennraum umschließende Bauteile.....	38
4.1.1.5 Abgassystem	40
4.1.1.6 Schmierölsystem	41
4.1.2 Kesselanlagen.....	42
4.2 Zumischung biogener Kraftstoffe (RME) zu Dieseldieselkraftstoffen.....	43
4.2.1 Motorenanlage	43
4.2.1.1 Kraftstoffsystem.....	43
4.2.1.2 Verbrennungsprozess	45
4.2.1.3 Abgasemissionen	46
4.2.1.4 Brennraumumschließende Bauteile.....	46
4.2.1.5 Abgassystem	47
4.2.1.6 Schmierölsystem	48
4.2.2 Kesselanlagen.....	49
4.2.3 Lagerung an Bord.....	49
5. Zusammenfassung.....	53
Literatur	56

1. Einleitung

Die vorliegende Studie gliedert sich in 3 Abschnitte, auf die gegenseitig Bezug genommen wird. In Abschnitt 1 wurde anhand der verfügbaren Datenbasis der motor- bzw. verbrennungstechnischen Ausrüstung der deutschen Binnenschiffe bezüglich Alter, Entwicklungsstand und Leistungsparametern analysiert. Abschnitt 2 beschreibt die Eigenschaften und Randbedingungen für den Einsatz schwefelarmer bzw. -freier Kraftstoffe im Vergleich zu bisher eingesetzten Kraftstoffqualitäten sowie grundsätzliche Erkenntnisse zum Einsatz biogener Kraftstoffbeimischungen.

In Abschnitt 3 werden die in Abschnitt 2 untersuchten Kraftstoffqualitäten auf die aus Abschnitt 1 abgeleiteten motor- bzw. verbrennungstechnischen Bedingungen an Bord bezogen. Es werden die Auswirkungen auf einen sicheren, umweltgerechten Betrieb der Binnenschiffsmotoren, auf Lagerung und Umgang mit den Kraftstoffen sowie Konsequenzen und Empfehlungen für Betrieb, Wartung und Instandhaltung der Motoren und Kesselanlagen aufgezeigt.

2. Alters- und Leistungsstruktur der in der Binnenschifffahrt eingesetzten Energieanlagen

Zur Bewertung der Kraftstoffverträglichkeit älterer Motoren wird nachfolgend eine Analyse der in der Binnenschifffahrt eingesetzten Antriebsmotoren durchgeführt. Ziel der Analyse ist die Auswahl einiger die Motoren repräsentativ widerspiegelnder Motortypen und -hersteller. Auf dieser Grundlage sollen verallgemeinerbare Aussagen zur Kraftstoffverträglichkeit der Motoren sowie zu Bauform und Kraftstoffverträglichkeit der eingesetzten Kraftstoff- und Einspritzsysteme getroffen werden. Da an Bord von Binnenschiffen alle Energieanlagen mit dem gleichen Kraftstoff versorgt werden, ist weiterhin die Kraftstoffverträglichkeit der an Bord installierten Kesselanlagen und Hilfsmotoren zu bewerten.

Während für die Hauptmotoren auf eine aufbereitete Datenbasis aus der Studie „Erarbeitung von Verfahren zur Ermittlung der Luftschadstoffemissionen von in Betrieb befindlichen Binnenschiffsmotoren“ [1] zurückgegriffen werden kann, sind für Heizungsanlagen und Hilfsmotoren kaum aufbereitete Daten verfügbar.

2.1 Dieselmotoren - Hauptantrieb

Aus der verfügbaren Datenbasis wurden entsprechend der Aufgabenstellung die Hersteller der im wesentlichen in der deutschen Binnenschifffahrt eingesetzten Motoren ermittelt. Die Daten liegen bis zum Jahr 2000 für ca. 71 % der Motoren vollständig vor. Es ist davon auszugehen, dass sie die aktuelle Situation des Einsatzes älterer Motoren in der Binnenschifffahrt widerspiegeln. Aus Abbildung 2.1 lassen sich 6 Motorenhersteller ableiten, die mit den in den Abbildung 2.2 – 2.15 dargestellten Motortypen vertreten sind (Tabelle 2.1). Als Hauptantriebe kommen bei älteren Motoren vorzugsweise Marinemotoren zum Einsatz. Als dieselmotorische Hilfsantriebe für Generatoren, Bugstrahlruder, Pumpen oder Winden werden hingegen angepasste Nutzfahrzeugmotoren sowie Motoren kleiner Leistung eingesetzt. Die kleinste in der Datenbasis berücksichtigte Motorleistung für Hauptantriebe liegt bei 130 kW, die größte bei 2650 kW. Der Drehzahlbereich der in der Studie berücksichtigten Motoren liegt zwischen 300 und 3900 Umdrehungen pro Minute und damit im Bereich mittelschnell bzw. schnell laufender Motoren.

Aus Abbildung 2.1 lässt sich erkennen, dass als ältere Motoren vorwiegend Motoren deutscher Motorenhersteller wie Deutz, MAN, MWM, SKL zum Einsatz gekommen sind. Als „ältere Motoren“ werden in dieser Studie Motoren bezeichnet, die bis in die 80'er Jahre auf Binnenschiffen installiert wurden.

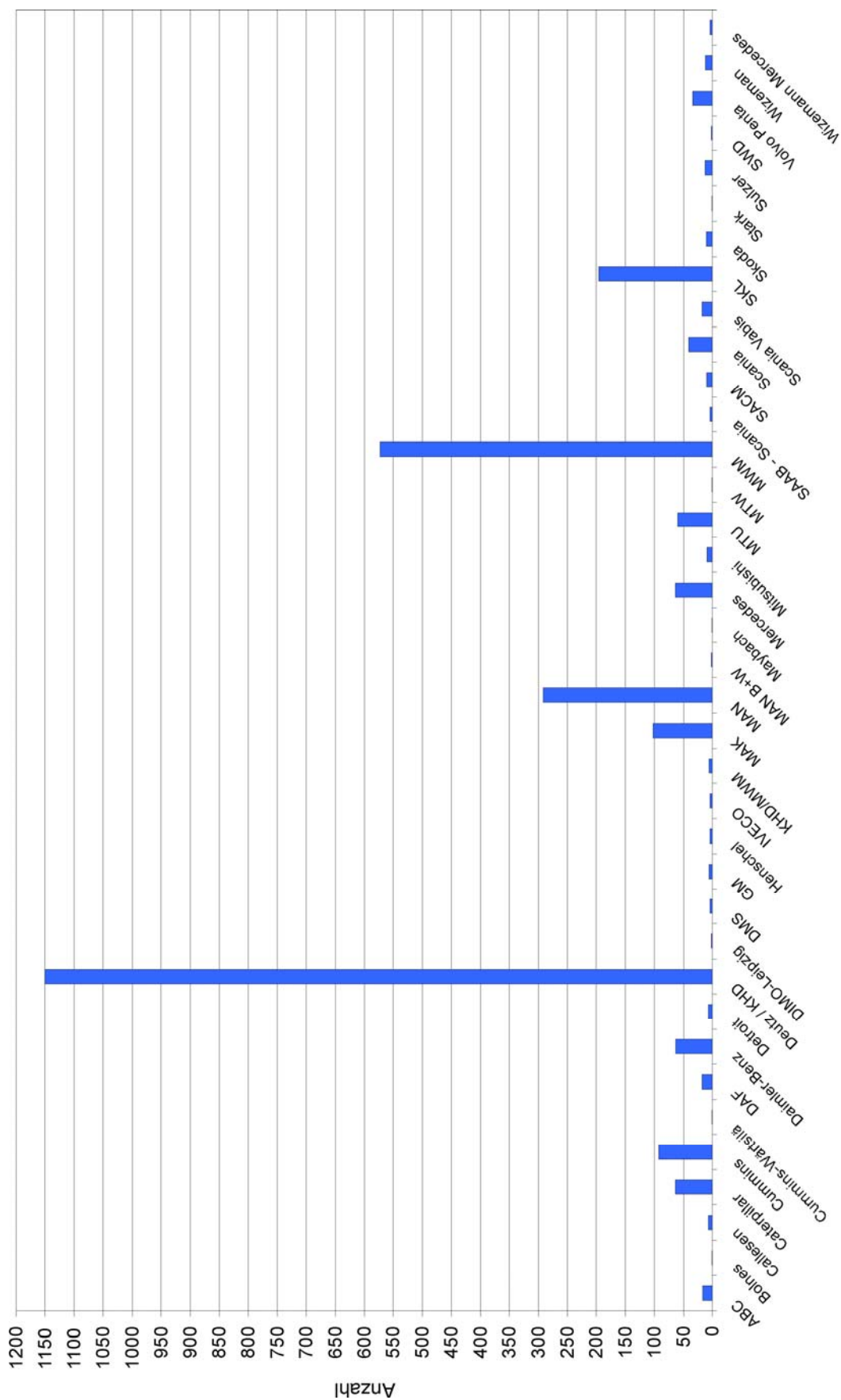


Abb.2.1: Eingesetzte Dieselmotoren in der deutschen Binnenschifffahrt bis 2000 [1]

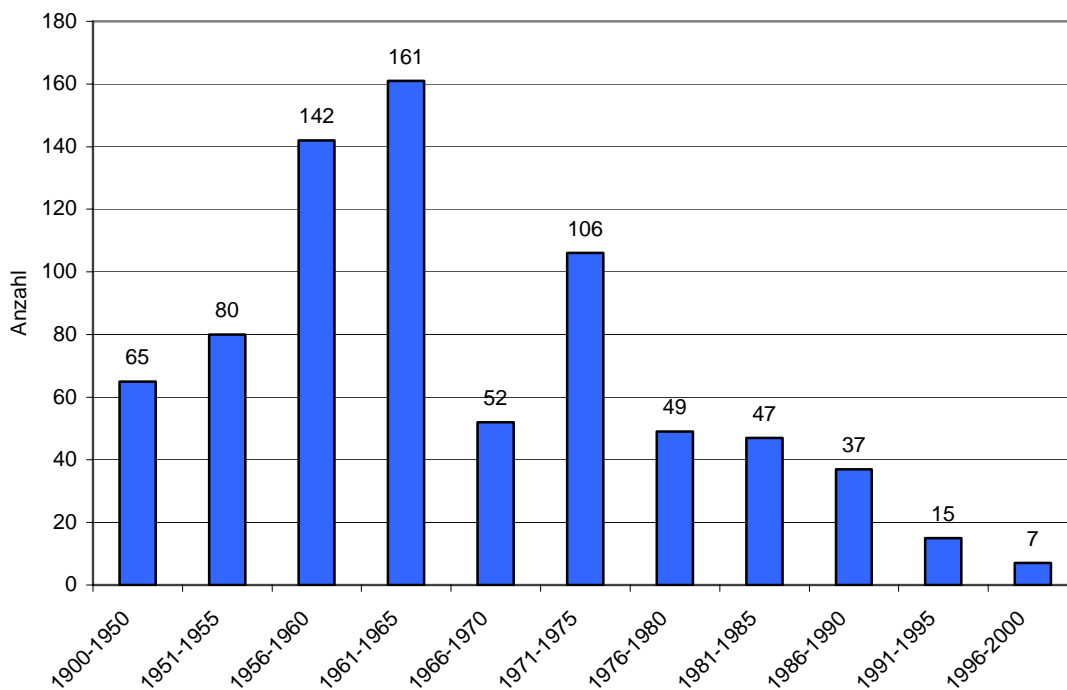


Abb.2.2: Anzahl der Motoren DEUTZ / KHD nach Lieferzeitraum [1]

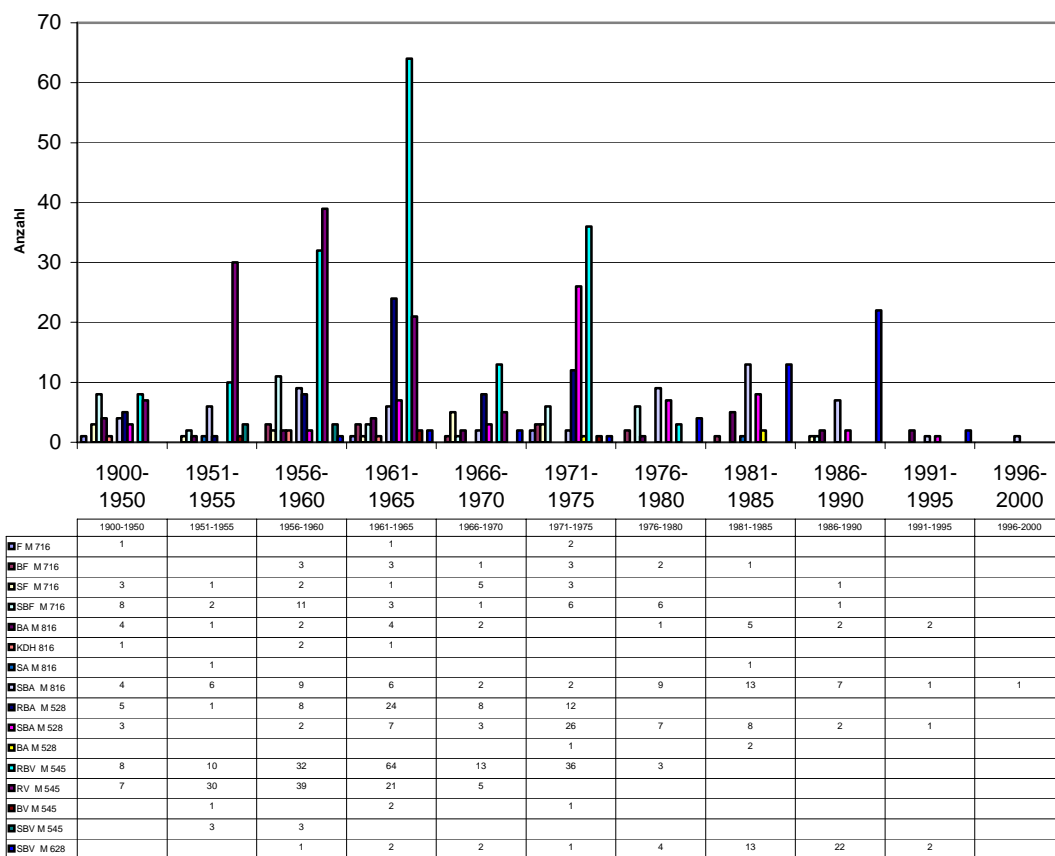


Abb.2.3: Anzahl der Motoren DEUTZ / KHD nach Typ und Lieferzeitraum [1]

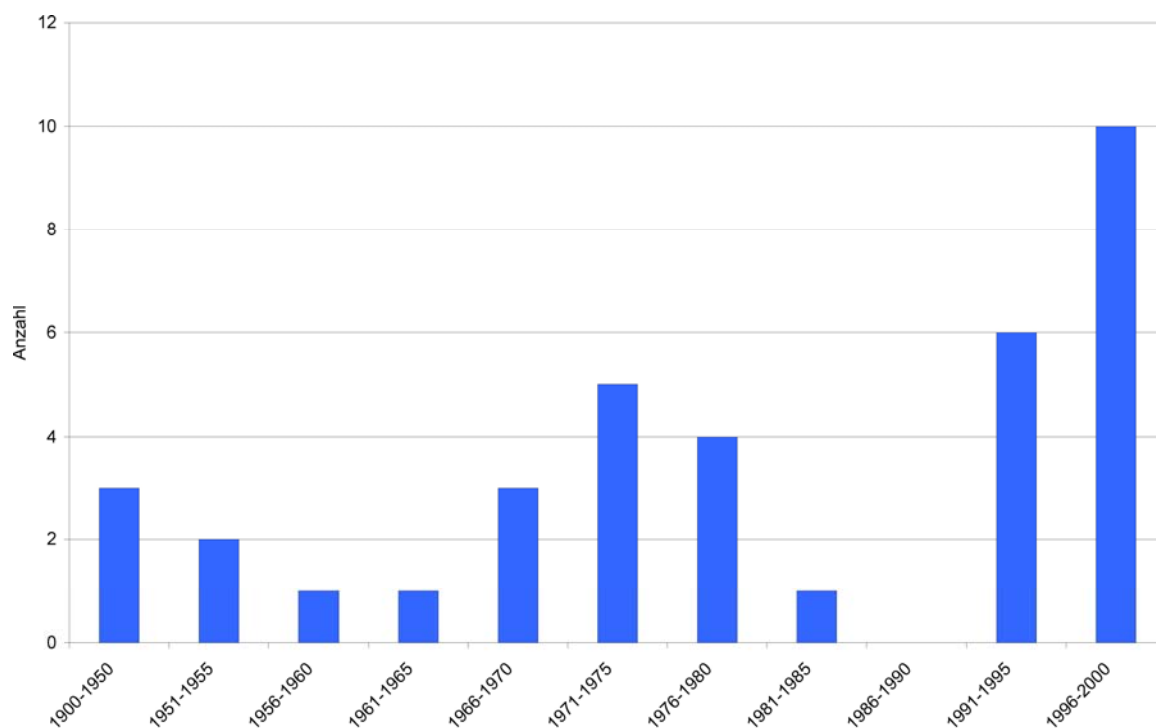


Abb.2.4: Anzahl der Motoren MTU nach Lieferzeitraum [1]

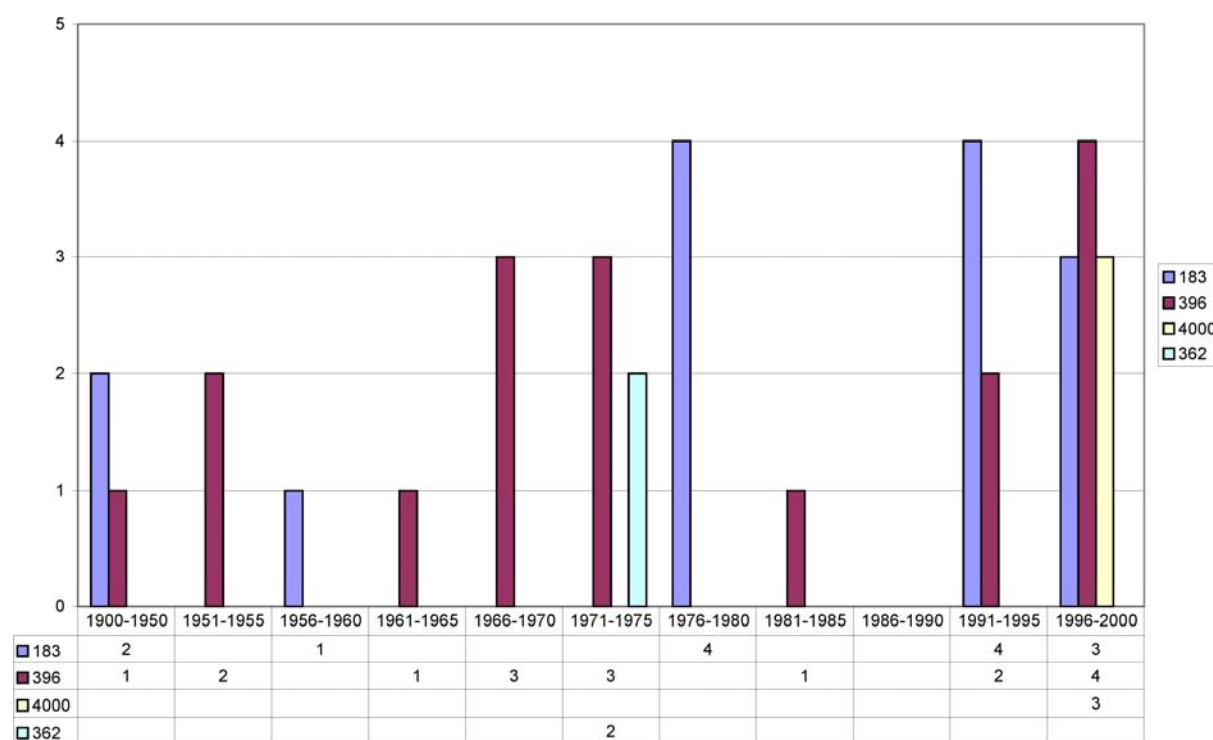


Abb.2.5: Anzahl der Motoren MTU nach Typ und Lieferzeitraum [1]

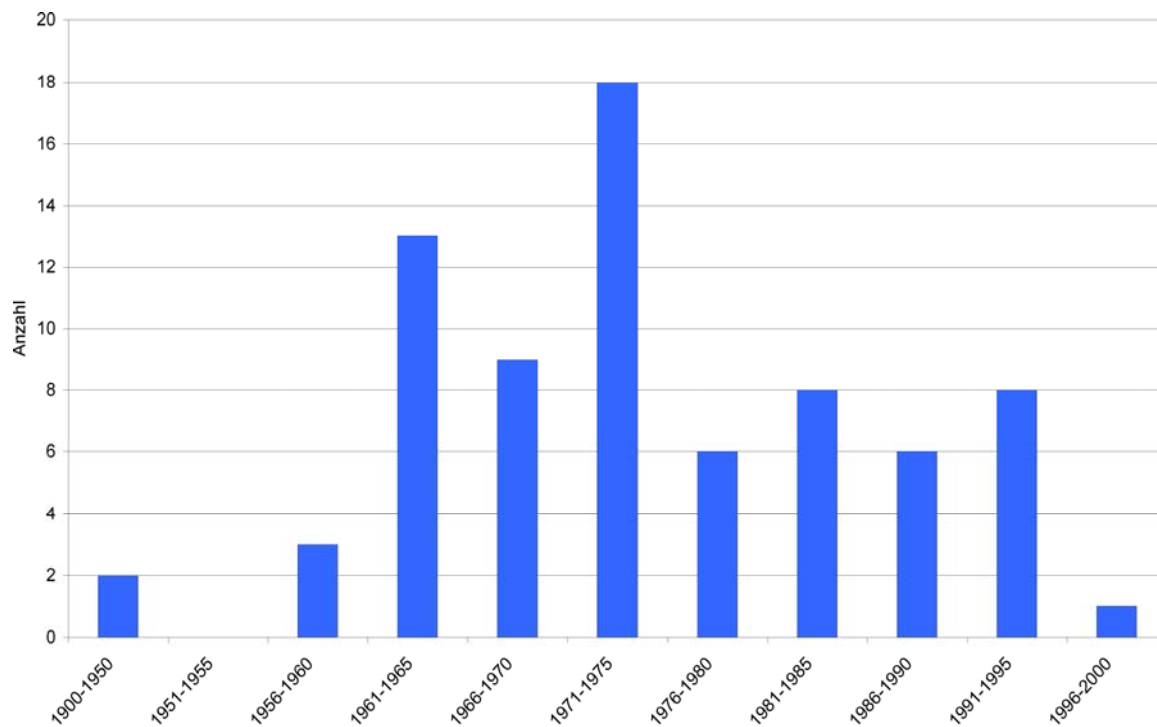


Abb.2.6: Anzahl der Motoren MAK nach Lieferzeitraum [1]

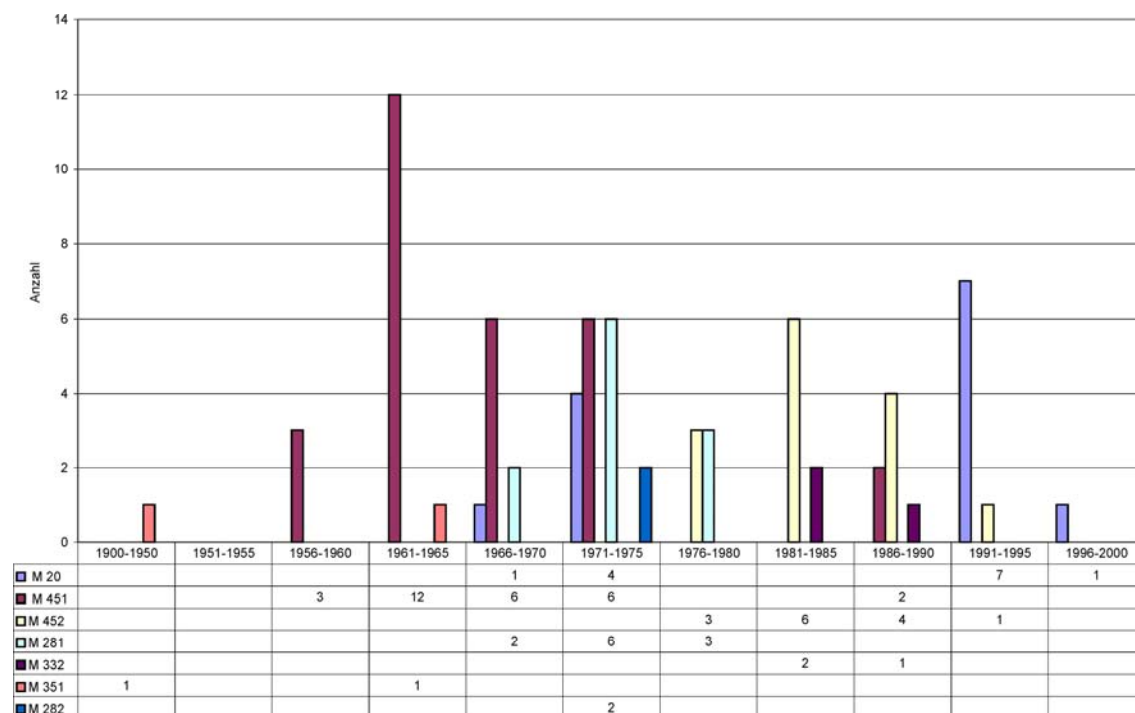


Abb.2.7: Anzahl der Motoren MAK nach Typ und Lieferzeitraum [1]

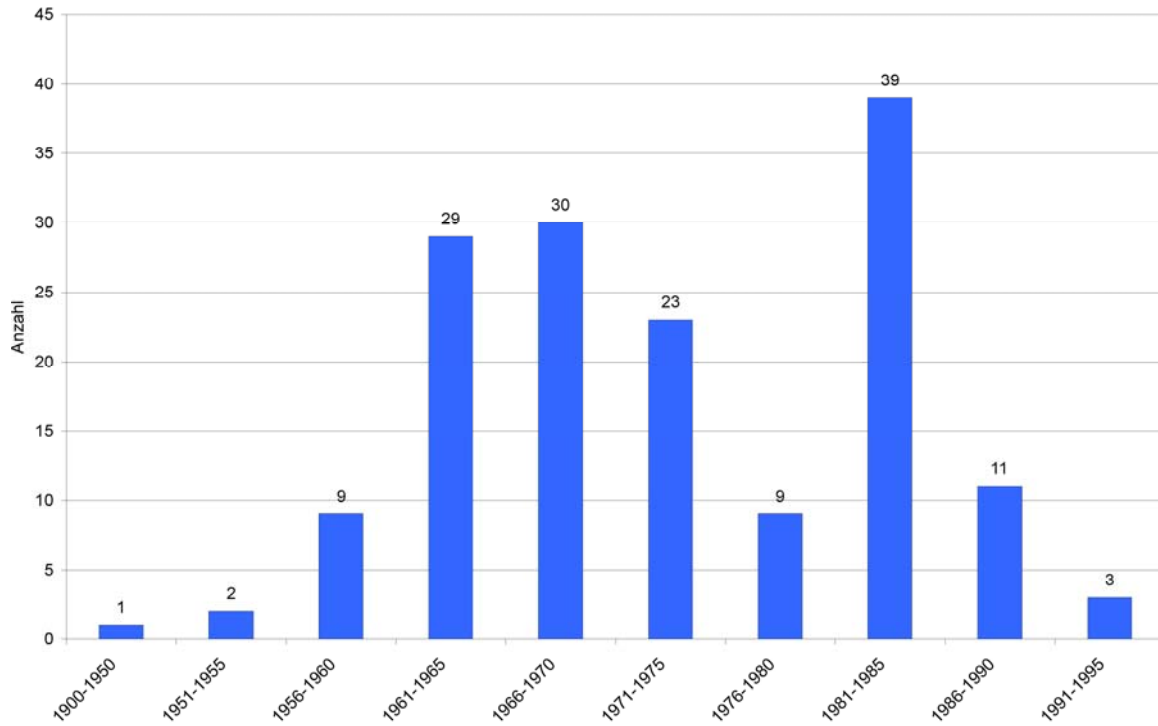


Abb.2.8: Anzahl der Motoren SKL nach Lieferzeitraum [1]

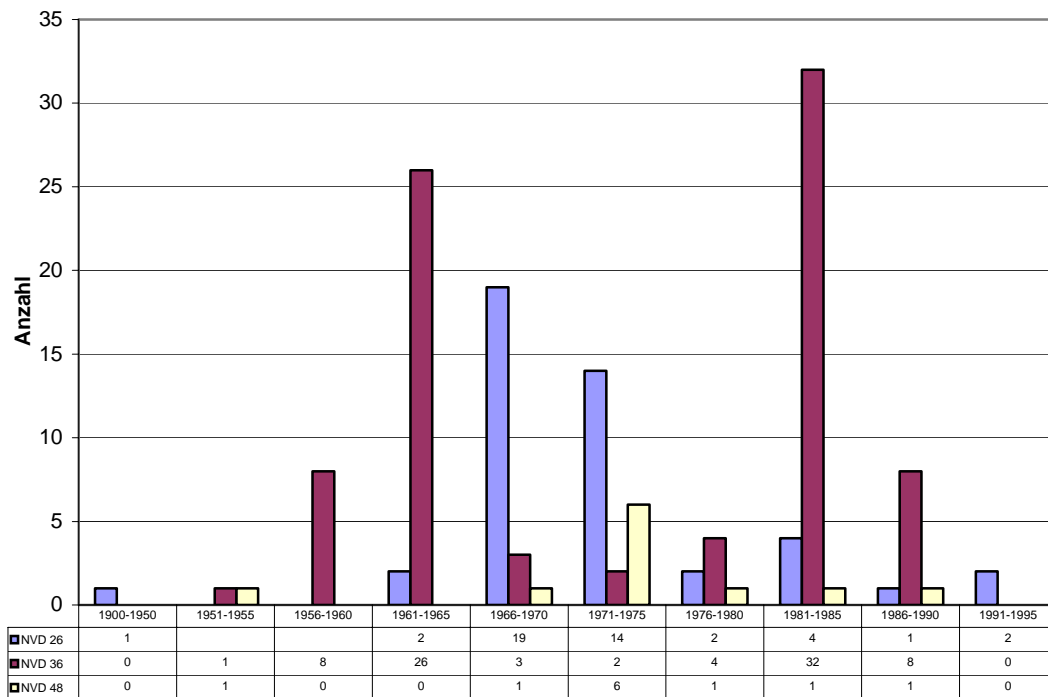


Abb.2.9: Anzahl der Motoren SKL nach Typ und Lieferzeitraum [1]

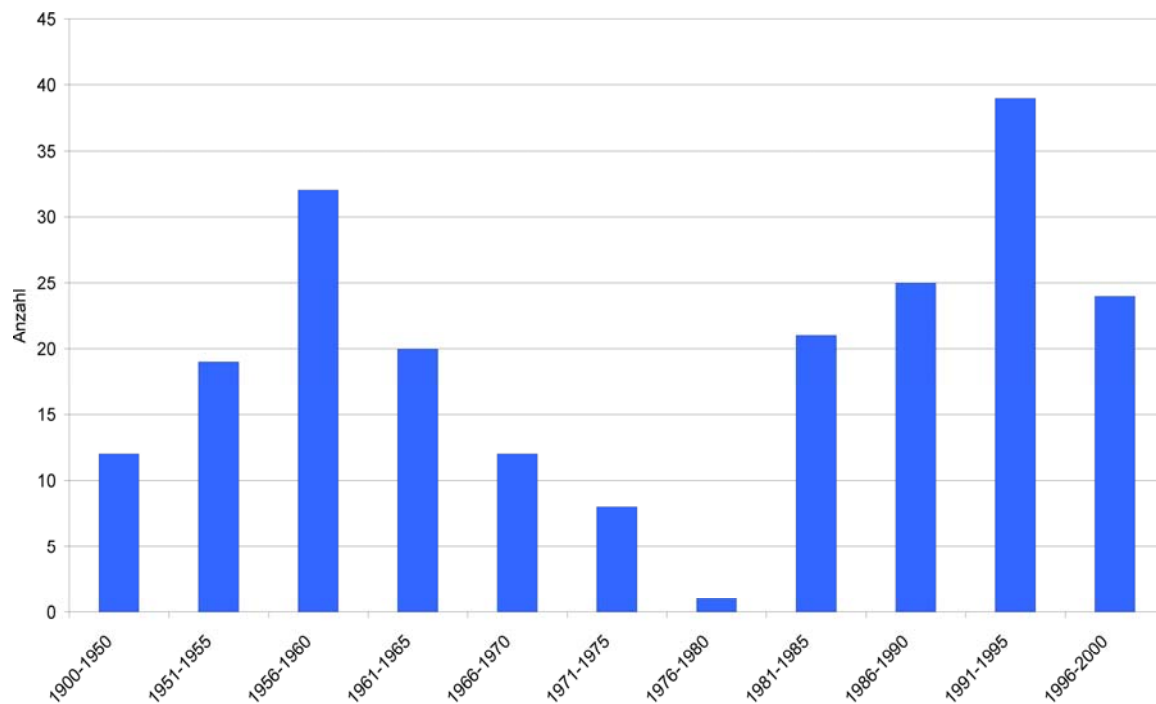


Abb.2.10: Anzahl der Motoren MAN nach Lieferzeitraum [1]

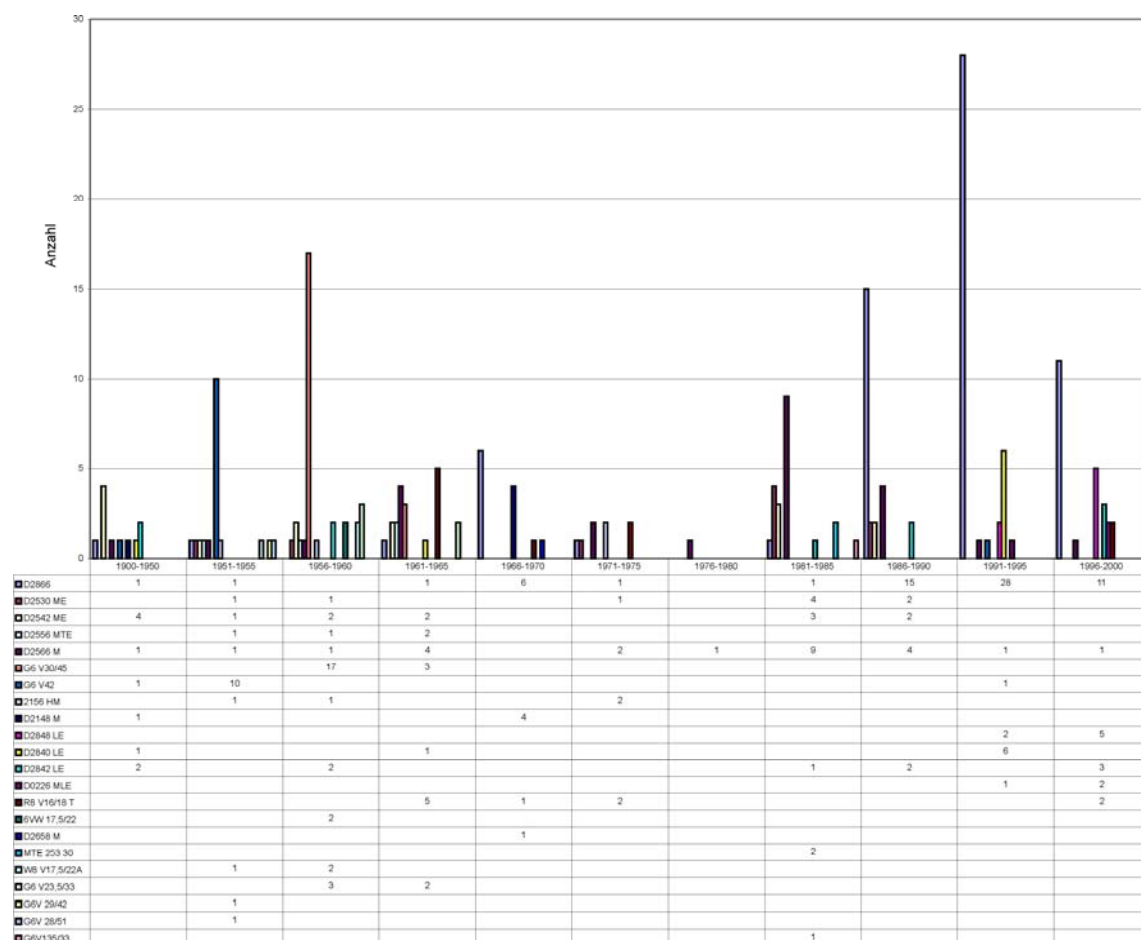


Abb.2.11: Anzahl der Motoren MAN nach Typ und Lieferzeitraum [1]

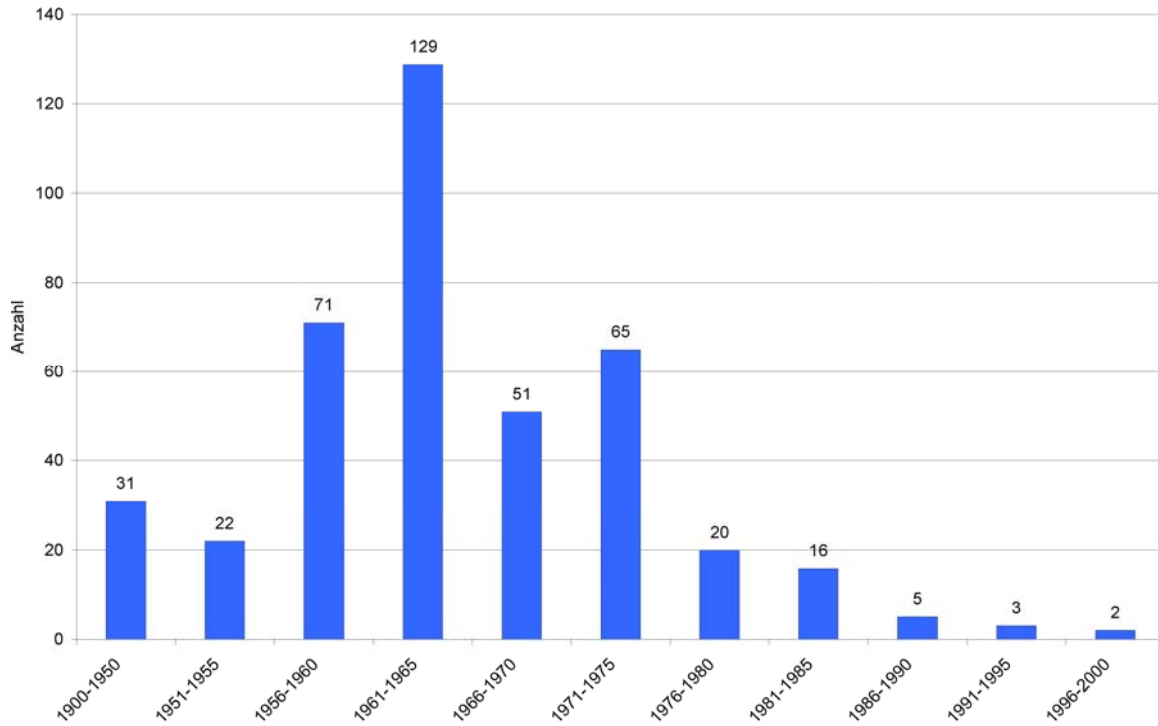


Abb.2.12: Anzahl der Motoren MWM nach Lieferzeitraum [1]

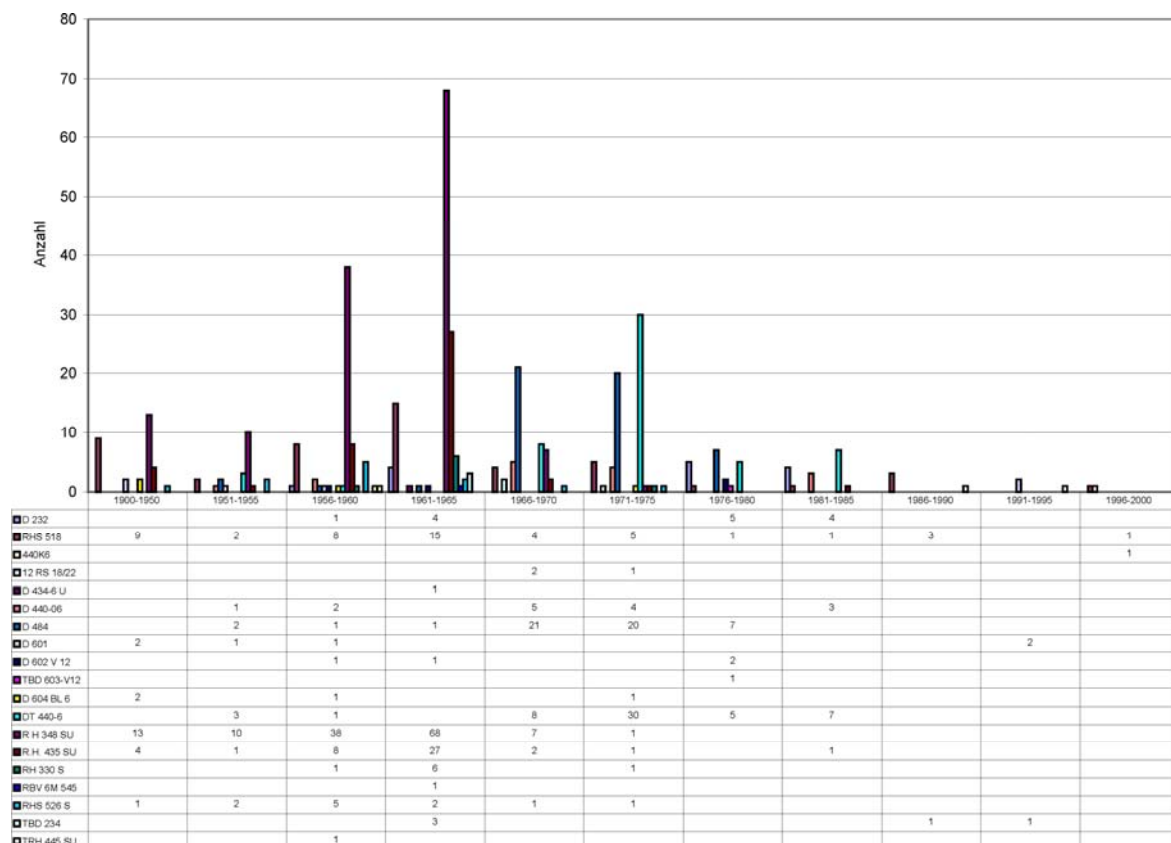


Abb.2.13: Anzahl der Motoren MWM nach Typ und Lieferzeitraum [1]

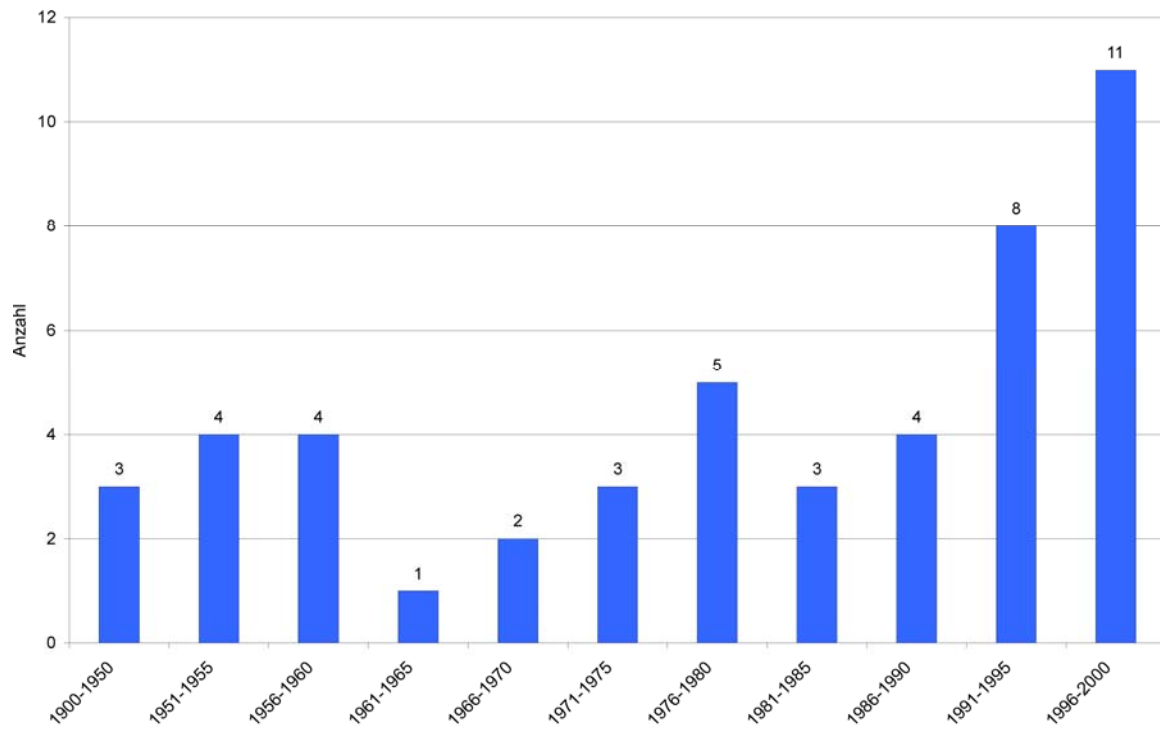


Abb.2.14: Anzahl der Motoren Caterpillar nach Lieferzeitraum [1]

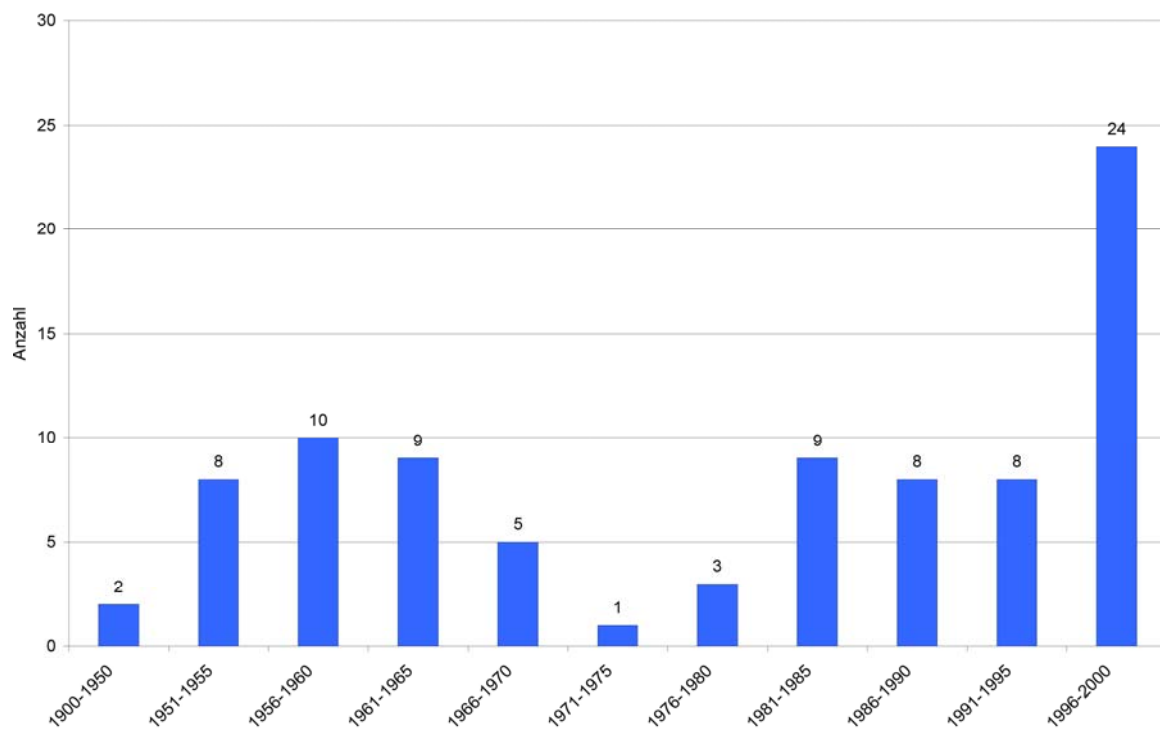


Abb.2.15: Anzahl der Motoren Cummins nach Lieferzeitraum [1]

Tabelle2.1: Eingesetzte Motorentypen und ausgewählte Leistungsparameter [1]

Hersteller	Motortyp	Anzahl der Motoren	Bohrung/ Hub [mm]	pe [bar]	Zylinderleistung [kW]	Drehzahl [min ⁻¹]	Leistung [kW]
MAN	D 2866	65	128 / 155	7,24 - 19,05	21,67 - 56,67	1500 - 2200	130 - 340
(212)	D 2566	25	125 / 155	7,31 -- 12,91	21,67 - 36,83	1500 - 2200	130 - 221
	GV 30/45	20	300 / 450	5,78 - 10,30	61,33 - 109,17	350 - 400	368 - 699
	GV 42	12	290 / 420	4,96 - 11,53	46 - 100	375 - 380	368 - 600
DEUTZ	M 545	276	321 / 451	4,84 - 21,86	55,17 - 133,33	330 - 392	331 - 1000
(761)	M 528	120	220 / 280	2,48 - 36,51	35,88 - 133,33	350 - 900	287 - 1001
	M 716	70	135 / 160	1,33 - 22,28	17,17 - 72,50	1000 - 1800	147 - 662
	M 628	46	240 / 280	11,62 - 25,58	98,0 - 217,33	500 - 1032	588 - 1304
SKL	6 NVD 26	45	180 / 260	5,36 - 17,73	22,17 - 73,33	750 - 1000	133 - 440
(156)	NVD 36	78	240 / 360	4,52 - 10,81	26,67 - 55,00	340 - 600	160 - 425
	NVD 48	11	320 - 480	6,26 - 10,55	80,5 - 121,38	350 - 428	483 - 971
MWM	RHS 518	49	136-140 / 180	5,75 - 12,24	16,13 - 40,0	1000 - 1950	138 - 361
(413)	DT 440	70	230 / 270	3,39 - 16,05	41,67 - 135	700 - 900	250 - 1080
	RH 348	137	320 / 480	3,81 - 11,05	51,50 - 133,33	325 - 375	309 - 850
	RH 435	45	250 / 350	5,98 - 9,94	32,5 - 78,5	375 - 640	195 - 626
MAK	M 451	29	320 / 450	5,97 - 13,56	67,5 - 147,17	300 - 380	405 - 883
(74)	M 452	14	320 / 450	12,97 - 13,01	146,67 - 147,17	375	880 - 883
	M 281	11	240 / 280	9,31 - 12,77	73,67 - 101,13	650 - 750	442 - 809
	M 20	13	200 / 300	16,98 - 24,05	120,0 - 170,0	900 - 1000	720 - 1360
MTU	183	14	128 / 142	6,69 - 19,56	18,38 - 61,83	1500 - 2300	147 - 735
(36)	396	17	165 / 185	11,63 - 19,96	66,17 - 125,0	1500 - 1950	440 - 1500

Mit den in Tabelle 2.1 aufgeführten 21 Motortypen werden ca. 80 % (das entspricht 1652 Motoren) der in der verwendeten Datenbasis vollständig beschriebenen 2065 Hauptmotoren der deutschen Binnenschifffahrt in einem Leistungsbereich ab 130 kW erfasst. Das entspricht einem Anteil von ca. 60 % des Gesamtbestandes an Hauptmotoren (2897 Motoren) zum Zeitpunkt 2000.

Motorwechsel und Motoren in Binnenschiffen, die nach dem Jahr 2000 durchgeführt bzw. in Dienst gestellt wurden, sind als Neumotoren einzustufen. Entsprechend der Entwicklung der Binnenschiffsflotte wurden Motoren größerer Leistung (> 1500 kW) vornehmlich ab Anfang der 90'er Jahre installiert. Sie unterliegen nicht der nachfolgenden Betrachtung für ältere Motoren.

2.2 Hilfsantriebe -. Dieselmotoren

Hilfsmotoren werden auf Binnenschiffen vorwiegend für

- Bugstrahlruder,
- Generatoren,
- Pumpen sowie für
- Windenantriebe

eingesetzt.

Hilfsmotoren wurden in der unter 2.1 verwendeten Datenbasis nicht erfasst. Hierzu liegen Daten des Schiffsregisters der ZSUK (Zentralstelle Schiffsuntersuchungskommission) vor. Aus einer ersten Abschätzung ist davon auszugehen, dass die verfügbaren Daten der ZSUK nur bedingt für eine projektbezogene Bewertung herangezogen werden können. Dies ist zum einen auf eine unvollständige und zum Teil objektiv bedingte fehlerhafte Datenerfassung, zum anderen auf die infolge der Vielzahl möglicher Motorentypen und -hersteller schwer zu kontrollierende Datenplausibilität zurückzuführen. Motorentypen oder Motorleistungen werden zum Teil nicht angegeben. Eine für das vorliegende Projekt wichtige Abschätzung des Motorenalters ist nicht möglich, da in der Datenerfassung Baujahr des Motors und Jahr der letzten Geräuschmessung zusammengefasst worden sind.

Motoren für Bugstrahlruder und Prozesspumpenmotoren entsprechen mit den nachfolgend ermittelten mittleren installierten Leistungen denen kleiner Hauptantriebsmotoren. Dieselgeneratoren und Windenmotoren sind mit den geringen installierten Leistungen nicht mit den Hauptantriebsmotoren vergleichbar. Wesentliche Unterschiede zwischen Haupt- und Hilfsmotoren liegen im Kraftstoff- und Einspritzsystem. Sie werden im Gliederungspunkt 4 erläutert.

Für die weitere Bearbeitung ist dennoch davon auszugehen, dass mit den im Abschnitt 4 getroffenen Bewertungen zur Kraftstoffverträglichkeit der Motoren eine verallgemeinerbare Basis zur Ableitung von Konsequenzen und Empfehlungen für Betrieb, Wartung und Instandhaltung der in der deutschen Binnenschifffahrt in Betrieb befindlichen Haupt- und Hilfsmotorenanlagen gegeben ist.

Bugstrahlruder

In der deutschen Binnenschifffahrt sind nach Angaben des aktuellen Schiffsregisters der ZSUK ca. 790 Schiffe mit Bugstrahlruderanlagen mit direktem Dieselmotorantrieb ausgerüstet. Aus den Abbildungen 2.16 und 2.17 lässt sich erkennen, dass im Wesentlichen DAF Motoren der Serie 1160 zum Einsatz kommen. Die mittlere installierte Leistung der Motoren liegt bei ca. 210 kW.

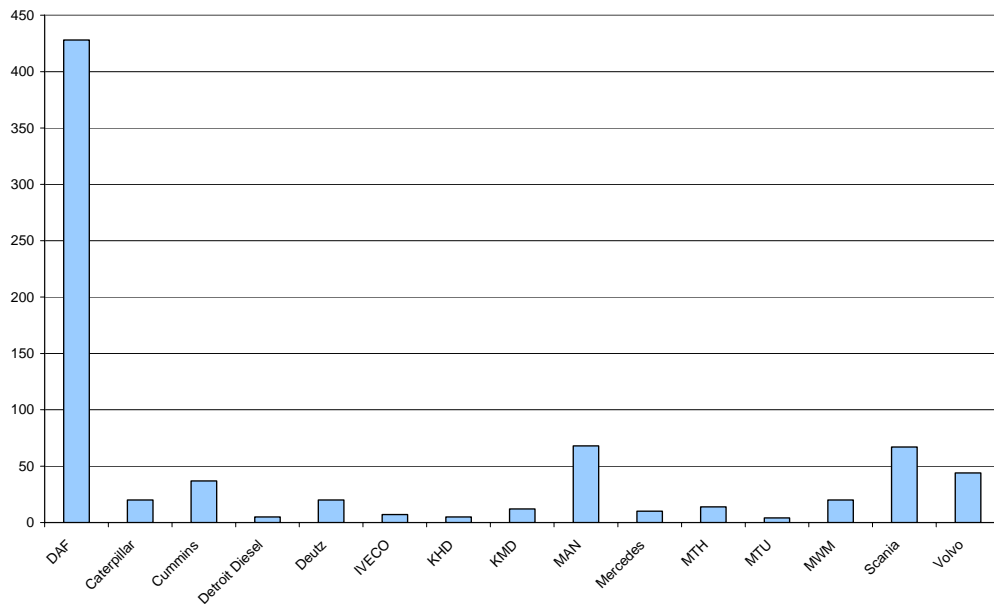


Abb.2.16: Eingesetzte Bugstrahlruder - Dieselmotoren in der deutschen Binnenschifffahrt [1]

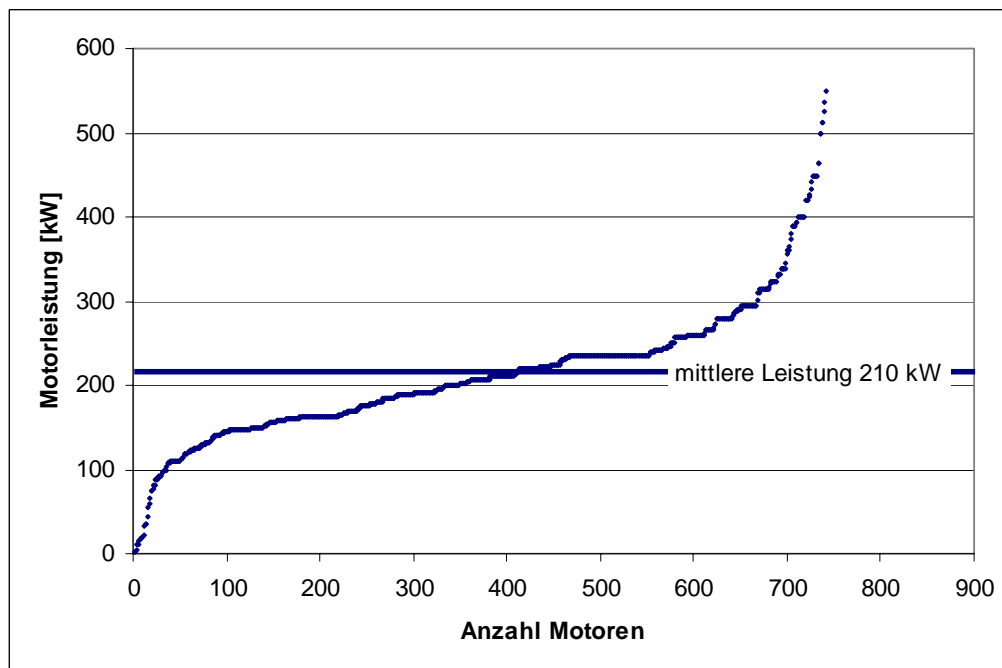


Abb.2.17: installierte Motorenleistung der Bugstrahlruder – Dieselmotoren [1]

Prozesspumpen

In der deutschen Binnenschifffahrt kommen nahezu ausschließlich in der Tankschifffahrt Lade- und Löschpumpen zum Einsatz. Im Schiffsregister der ZSUK sind ca. 290 Pumpen mit direktem Dieselmotorenantrieb registriert. Die mittlere installierte Leistung der Motoren beträgt ca. 110 kW (Abbildung 2.18; 2.19)

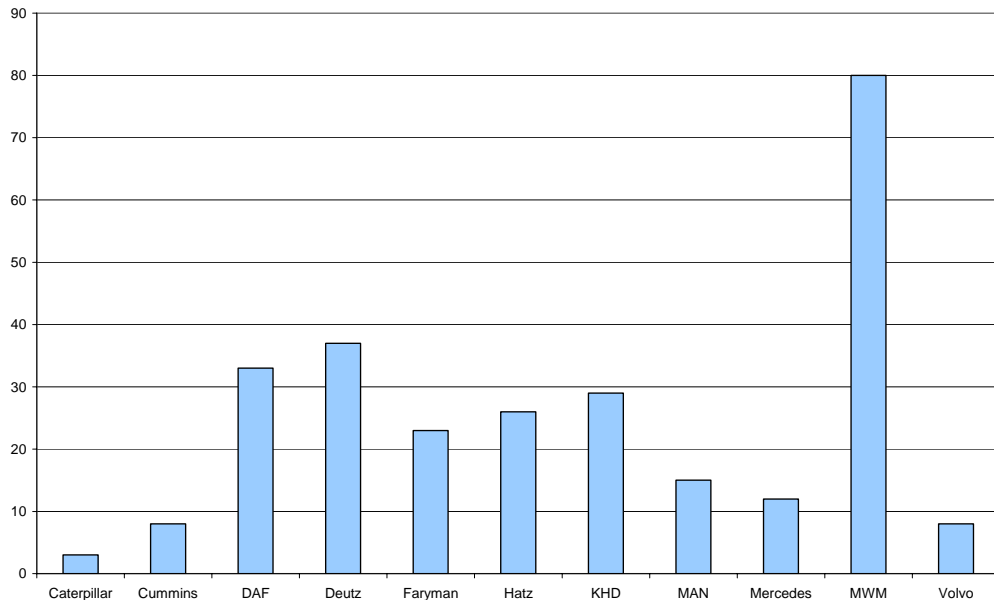


Abb.2.18: eingesetzte Prozesspumpen - Dieselmotoren in der deutschen Binnenschifffahrt [1]

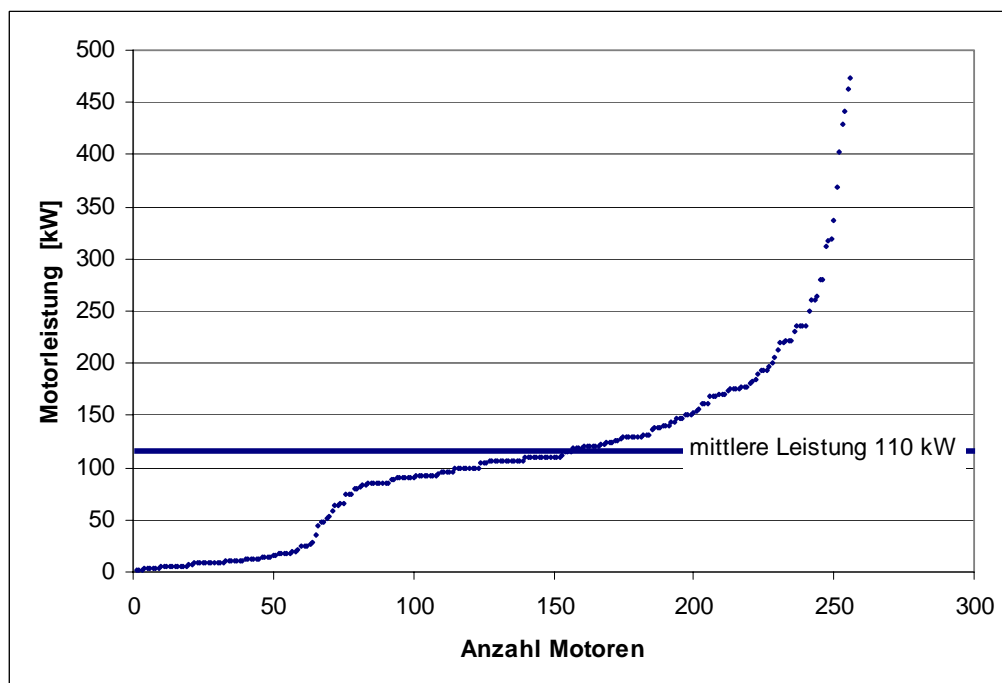


Abb.2.19: installierte Motorenleistung der Prozesspumpen – Dieselmotoren [1]

Generatoranlagen

Aus Abbildung 2.20 ist ableitbar, dass bei den insgesamt im Schiffsregister der ZSUK erfassten ca. 2350 Generatoranlagen ein Großteil der Motoren der Motorenhersteller Deutz und Hatz zum Einsatz kommen. Die mittlere installierte Leistung der zur Stromerzeugung auf den Binnenschiffen eingesetzten Dieselgeneratoren liegt bei ca. 47,5 kW (Abbildung 2.21).

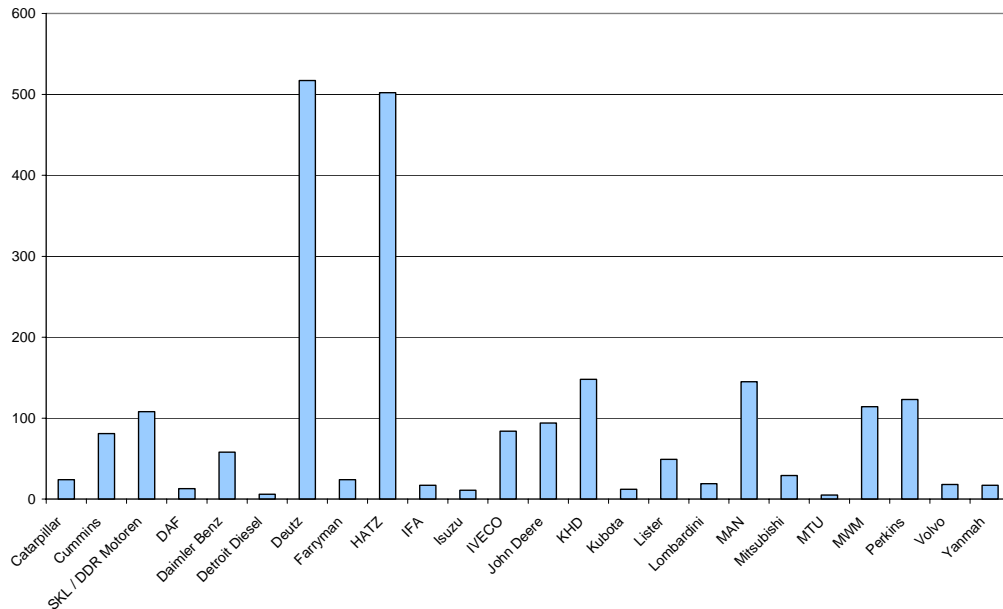


Abb.2.20: eingesetzte Prozesspumpen - Dieselmotoren in der deutschen Binnenschifffahrt [1]

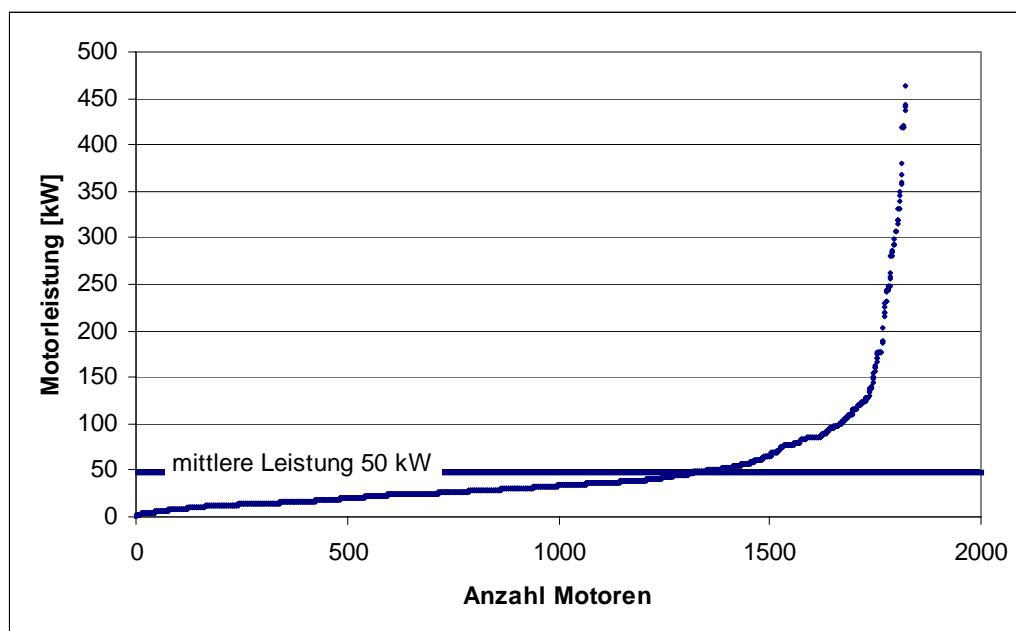


Abb.2.21: installierte Motorenleistung der Prozesspumpen – Dieselmotoren [1]

Windenantriebe

Als Heck- und Bugankerwinden werden im Schiffsregister der ZSUK ca. 100 Motoren mit einer mittleren Leistung von ca. 8 kW aufgeführt. Ein Großteil der Motoren sind Motoren der Motorenhersteller Farryman und Hatz.

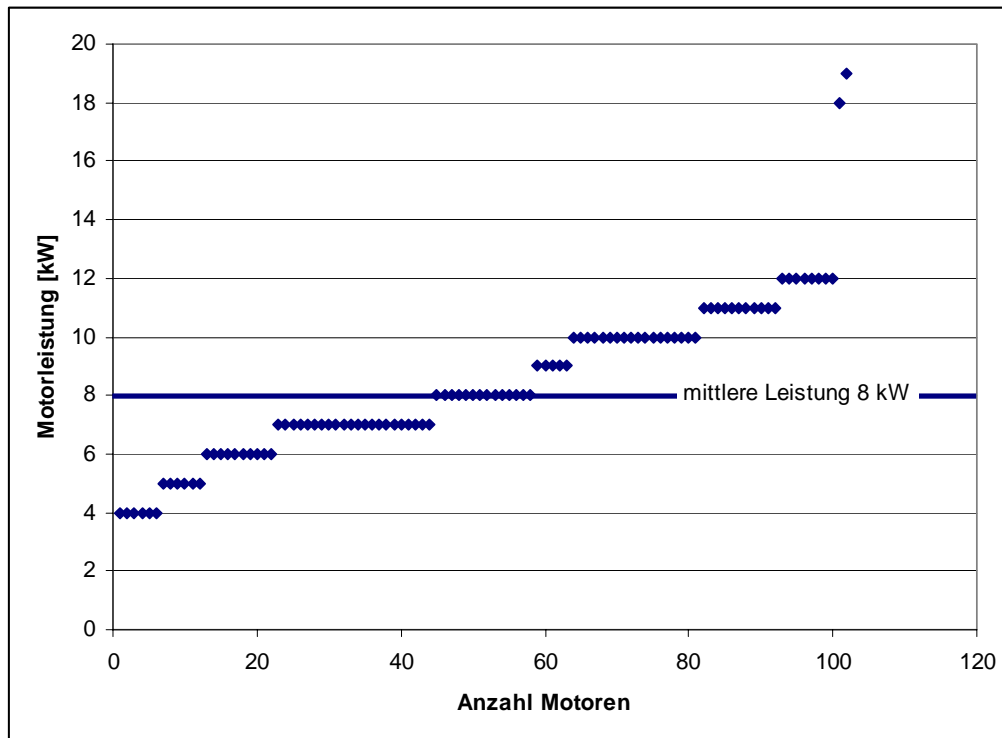


Abb.2.22: installierte Motorenleistung der Windenantriebe – Dieselmotoren [1]

2.3 Kesselanlagen

Kesselanlagen kommen in Binnenschiffen als Kesselsysteme für die Abdeckung des sanitären Wärmebedarfs, für die Beheizung der Wohn- und Arbeitsräume sowie zur Bereitstellung von Prozesswärme zum Einsatz. Die Daten der auf den Binnenschiffen installierten Kessel sind nicht dokumentiert. Als Leistungsklassen für nachfolgende Betrachtungen können lt. BDB die in Tabelle 2.2 aufgeführten Angaben zugrunde gelegt werden. Entsprechend der Lebensdauer von Kesselanlagen ist für nachfolgende Bewertungen davon auszugehen, dass Kesselanlagen mit einem Alter von über 20 Jahren nicht mehr in Betrieb sind. Es ist davon auszugehen, dass die Kessel über Zerstäuberbrenner gefeuert werden.

Tabelle2.2: Leistungsklassen eingesetzter Heizkessel in der deutschen Binnenschifffahrt [2]

	<i>Leistung</i>
<i>Ladungsheizung</i>	1000 bis 3500 kW
<i>Frachtschifffahrt</i>	35 bis 50 kW
<i>Fahrgastschifffahrt</i>	1000 Personen 450 bis 500 kW 600 Personen 250 kW 400 Personen 150 kW 250 Personen 46 kW

3. Analyse einsetzbarer schwefelarmer Kraftstoffe mit Zumischung biogener Kraftstoffkomponenten (RME)

3.1 Schwefelarme, schwefelfreie Kraftstoffe

In der deutschen Binnenschifffahrt kommen derzeit Gas- bzw. Heizöle und Dieselmotorkraftstoffe zum Einsatz. Da die Schiffe in der Regel nur eine Kraftstoffsorte bunkern, werden alle anderen Verbrennungsanlagen an Bord mit identischem Kraftstoff betrieben. Dies sind neben den Hauptmotoren Hilfsmotoren für Bugstrahlruder, Generatoren, Winden u.ä. sowie Kesselanlagen.

Die Qualität der Dieselmotorkraftstoffe und Heizöle ist in Deutschland durch entsprechende Normungen geregelt, die in den Tabellen 3.1 und 3.2 aufgeführt sind.

Nach Angaben des BDB ist davon auszugehen, dass ca. 80 % des deutschen Binnenschifffahrtsverkehrs grenzüberschreitend ist. Demzufolge ergeben sich als bunkerbare Kraftstoffe für die Binnenschifffahrt auch Kraftstoffe aus den Niederlanden (VOS – Spezifikation), Österreich (ÖC 1109), der Schweiz (SN 8181160-2) sowie den osteuropäischen Ländern. Während für Dieselmotorkraftstoffe EU- Normen mit detaillierten Kraftstoffspezifikationen existieren, unterliegen die Gas- und Heizölqualitäten nationalen Regelungen und Normen. Lediglich der Schwefelanteil im Kraftstoff wird für Schiffe in den EU- Normen 1999 / 32/ EG, geändert durch Richtlinie 2005 / 33/ EG, vorgegeben.

Berücksichtigt man, dass Kraftstofflieferanten aus den Niederlanden für das Hauptfahrtgebiet, den Rhein, die Kraftstoffe zu deutlich günstigeren Konditionen anbieten als deutsche Anbieter, ist erklärbar, dass nach Schätzungen des BDB ca. 80 % der Rheinflotte in den Niederlanden bunkern.

Gas- bzw. Heizöl kommt im wesentlichen in stationären Energieanlagen oder eben auf Binnenschiffen als Kraftstoff zum Einsatz. Da in den Niederlanden stationäre Energieanlagen weitgehend mit Erdgas betrieben werden, bestehen keine nationalen Normen für die Gas- und Heizölqualität, sondern Richtlinien nach VOS - Spezifikation. Diese lehnen sich weitgehend an die deutschen Normen an.

Tabelle 3.1 : Eigenschaften Dieselkraftstoff nach DIN EN 590

Eigenschaften		Anforderungen	
		min.	max.
Cetanzahl	-	51,0	-
Dichte bei 15°C	kg/m ³	820	845
Schwefelgehalt	mg/kg	-	50
Flammpunkt	°C	> 55	-
Koksrückstand	% (m/m)	-	0,30
Aschegehalt	% (m/m)	-	0,01
Wassergehalt	mg/kg	-	200
Oxidationsstabilität	g/m ³	-	25
Lubricity	µm	-	460
Viskosität 40 °C	mm ² /s	2,00	4,50

Tabelle 3.2: Eigenschaften Gas- bzw. Heizöl nach DIN 51603 – 1; 2003 – 09 [3]

Eigenschaften		Anforderungen	
		min.	max.
Dichte bei 15 °C	kg/m ³		860
Heizwert	MJ/kg	42,6	
Flammpunkt im geschlossenen Tiegel nach Pensky-Martens	°C	über 55	
Kinematische Viskosität bei 20 °C	mm ² /s		6,00
Koksrückstand nach Conradson, (von 10 % Destillationsrückstand), angegeben als Massenanteil	%		0,3
Schwefelgehalt für Heizöl EL-1-Standard angegeben als Massenanteil	mg/kg	über 50	–
	%	über 0,0050	0,20
Schwefelgehalt für Heizöl EL-1-schwefelarm angegeben als Massenanteil	mg/kg	–	50
	%	–	0,0050
Wassergehalt, angegeben als Massenanteil	mg/kg		200
Gesamtverschmutzung, angegeben als Massenanteil	mg/kg		24
Asche, angegeben als Massenanteil	%		0,01

Tabelle 3.3: Eigenschaften Gas- bzw. Heizöl nach VOS - Spezifikation

Eigenschaften		Anforderungen	
		min.	max.
Cetanzahl	-	45	
Dichte bei 15 °C	kg/m ³		860
Heizwert	MJ/kg		
Flammpunkt im geschlossenen Tiegel nach Pensky-Martens	°C	über 60	
Kinematische Viskosität bei 20 °C	mm ² /s		6,00
Koksrückstand nach Conradson, (von 10 % Destillationsrückstand), angegeben als Massenanteil	%		0,3
Schwefelgehalt für Heizöl angegeben als Massenanteil	mg/kg		2000
	%		0,20
Wassergehalt, angegeben als Massenanteil	mg/kg		200
Gesamtverschmutzung, angegeben als Massenanteil	mg/kg		24
Asche, angegeben als Massenanteil	%		0,01
Lubricity	µm	-	460

Aus den Normungen geht hervor, dass Dieselmotorkraftstoffe sowie Gas- und Heizöle mit unterschiedlichem Schwefelgehalt angeboten werden können. Der Schwefelanteil im Kraftstoff wird in allen Normungen auf einen Maximalwert begrenzt. Demzufolge ist es durchaus möglich, dass bereits heute Kraftstoffe mit deutlich niedrigerem Schwefelanteil als gefordert zum Einsatz kommen.

Schwefel ist ein an sich unerwünschter Bestandteil im Kraftstoff. Bei der Verbrennung wird der im Kraftstoff gebundene Schwefel vollständig in SO₂ umgesetzt. Zudem befördert er Partikelemissionen. Eine Taupunktunterschreitung ($T < 180^{\circ}\text{C}$) im Abgasstrom führt zur Bildung schwefliger Säure in einem Wasser-Dampfgemisch, die eine Nasskorrosion an den Abgas führenden Bauteilen bewirkt.

Einerseits lässt der Einsatz schwefelarmer Kraftstoffe weniger SO₂-haltige Abgase und Partikel entstehen. Dies führt zu besseren Bedingungen für eine nachgeschaltete Abgasaufbereitung (Katalysatoren u.ä.) sowie reduzierten Belastungen der Brennraum umschließenden sowie Abgas führenden Bauteile.

Andererseits unterstützten die in höherem Maße verfügbaren polaren Bindungen eines Kraftstoffs mit höherem Schwefelgehalt die Schmierfähigkeit, die elastohydrodynamische Schmierung. Beeinflusst wird die Schmierfähigkeit im Kraftstoff durch:

- die Anzahl und Anordnung von polaren Ketten (Fremdatome),
- den Gehalt an Di - und Tri – Aromaten und
- die Kettenlänge der Paraffine. [4]

Zur Erzeugung schwefelarmer Kraftstoffe ist je nach Qualität des Rohdieselskraftstoffs in der Raffinerie eine nachgeschaltete unterschiedlich intensive Hydrierung erforderlich. Dabei gehen viele polare Bindungen verloren und ein Kraftstoff mit unzureichender Schmierfähigkeit entsteht. Bei Unterschreitung vorgegebener Grenzwerte kann die Schmierfähigkeit des Kraftstoffs zu erhöhtem Verschleiß, starken Schädigungen bis hin zum Totalausfall der durch den Kraftstoff geschmierten Bauteile führen. Zur Gewährleistung der Schmierfähigkeit sind daher Zuschläge in Form von Additiven oder anderen Kraftstoffen mit erhöhter Schmierfähigkeit notwendig.

Die Schmierfähigkeit beeinflusst die elastohydrodynamische Schmierung der Bauteilpaarungen und ist damit maßgeblich für die Funktion sowie das Verschleiß- und Bauteilverhalten Kraftstoff fördernder Bauteile, insbesondere im Einspritzsystem von Motoren und im Brennersystem von Kesseln.

Die Schmierfähigkeit wird in μm angegeben. Der Wert bestimmt sich nach einem standardisierten Versuch (HFRR-Test) aus dem mittleren Durchmesser einer verschleißbedingten Fläche im Versuchsaufbau. Für den Versuch wird bei konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit eine Kugel 75 Minuten lang mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Anpresskraft von 2 N über einem Weg vom 1 mm hin- und herbewegt. Im Ergebnis entsteht ein ovaler Verschleißabschnitt, der in beide Ausdehnungsrichtungen vermessen wird. Der Mittelwert entspricht dem mittleren Durchmesser und stellt den Wert für die Schmierfähigkeit des Kraftstoffs dar.

3.2 Umsetzung der Qualitäten schwefelarmer, schwefelfreier Kraftstoffe

Die angegebenen Kraftstoffqualitäten der jeweiligen Normung sind zulässige Min- bzw. Max-Werte. Innerhalb dieser Grenzen können die Werte für die jeweils eingesetzten Kraftstoffe zum Teil stark schwanken. Dies hängt maßgeblich von der Rohölqualität und der Raffinerie ab.

Tabelle 3.4 zeigt einen Vergleich der Erfüllung von Anforderungen nach DIN EN 590 für unterschiedliche „schwefelfreie“ Dieselkraftstoffe.

Tabelle 3.4 : Analysen Dieselkraftstoffe mit Schwefelgehalten < 10 ppm nach [5] und [6]

Eigenschaften		DIN EN 590		DK - 1	DK - 2	DK - 3	DK - 4
		min.	max.	[5]	[5]	[5]	[6]
Cetanzahl	-	51,0	-	-	52,3	56,0	54
Dichte bei 15°C	kg/m ³	820	845	836,3	823,9	826,8	833,8
Schwefelgehalt	mg/kg	-	50	9,5	8,0	8,3	3
Flammpunkt	°C	> 55	-	67,0	62,0	72,0	84,0
Koksrückstand	% (m/m)	-	0,30	< 0,01	-	-	< 0,01
Aschegehalt	% (m/m)	-	0,01	< 0,01	-	-	< 0,005
Wassergehalt	mg/kg	-	200	52	42	102	40
Oxidationsstabilität	g/m ³	-	25	1,24	1,43	1,44	3
Lubricity	µm	-	460	327	314	323	374
Viskosität 40 °C	mm ² /s	2,00	4,50	2,58	2,02	2,60	2,712

Die Kraftstoffe DK - 1, DK - 2 und DK - 3 wurden nach [5] aus den Produkten unterschiedlicher Raffinerien entsprechend der jeweiligen Oxidationsstabilität ausgewählt. Die Angaben für DK - 4 wurden [6] entnommen.

Im Ergebnis lässt sich feststellen, dass die Schmierfähigkeit aller DK - Proben trotz zum Teil deutlicher Unterschreitung des Schwefelgehaltes durch die Hersteller voll gewährleistet und die Grenzwerte teilweise deutlich unterschritten wurden. Deutlich wird zudem, dass infolge unterschiedlicher Rohölqualitäten nicht nur der Schwefelgehalt und die Schmierfähigkeit sondern nahezu alle anderen Parameter deutlichen Schwankungen in den durch die EU-Norm gesetzten Grenzen unterliegen.

Bei der Bereitstellung schwefelarmer bzw. schwefelfreier Kraftstoffe für die Binnenschifffahrt ist davon auszugehen, dass sich die eingesetzten Additive zur Gewährleistung der erforderlichen Schmierfähigkeit nicht von den Additiven für die im Straßenverkehr eingesetzten Dieselkraftstoffe unterscheiden.

3.3 Biogene Kraftstoffe (RME)

Als Biokraftstoffe im Sinne des BioKraftQuG (Biokraftstoffe Quotengesetz) gelten:

- Fettsäuremethylester (Biodiesel), wenn sie aus der Veresterung von pflanzlichen oder tierischen (tierische nur bis zum Jahr 2012) Ölen oder Fetten gewonnen werden und mindestens die Anforderungen der DIN EN 14214 erfüllen,
- Bioethanol mit einem Mindestalkoholanteil von 99 Volumenprozent und bei Erfüllung der Anforderungen des Entwurfes DIN EN 15376 und
- Pflanzenöl bei Erfüllung der Anforderungen der DIN V 51605.

In die Norm DIN EN 590, die die Anforderungen an Dieselmotorkraftstoff festlegt, wurde eine Zugabe von Fettsäuremethylester (FAME) bis zu einem maximalen Gehalt von 5 Volumenprozent aufgenommen. Entsprechend des BioKraftQuG und gemäß DIN EN 590 wird dem Dieselmotorkraftstoff Biodiesel beigemischt. Bis zu 5 Volumenprozent ist dies ohne Kennzeichnung möglich. Höhere Gehalte an Biodiesel sind kennzeichnungspflichtig. Unter diesem Gesichtspunkt beziehen sich die folgenden Ausführungen auf Biodiesel, insbesondere Rapsölmethylester. Tabelle 3.5 zeigt die einzuhaltenden Mindestanforderungen für Biodiesel. Neben Pflanzenöl und Biodiesel (Biokraftstoff der 1. Generation) sind derzeit synthetische Biokraftstoffe (BTL, Synfuel oder auch Sunfuel[®]), auch Biokraftstoff der 2. Generation genannt, in der Entwicklung. Diese werden in einem zweistufigen Verfahren hergestellt, indem Biomasse in einem ersten Schritt vergast und anschließend synthetisiert wird. Das bekannteste Syntheseverfahren ist die Fischer-Tropsch-Synthese. Durch eine Veränderung bestimmter Parameter bei der Synthese und der anschließenden Aufbereitung können die Eigenschaften des Kraftstoffes gezielt verändert werden. Deshalb wird auch von maßgeschneiderten Kraftstoffen gesprochen. Diese Kraftstoffe sind im Gegensatz zu Kraftstoffen der 1. Generation ohne technische Änderungen am Motor einsetzbar. Derzeit wird davon ausgegangen, dass die BTL-Kraftstoffe ab 2010 Marktrelevanz erreichen dürften.

Tabelle 3.5: Eigenschaften Biodiesel nach DIN EN 14214

Eigenschaften		Anforderungen	
		min.	max.
Ester	% (m/m)	96,5	
Dichte bei 25°C	kg/m ³	860	900
Viskosität bei 40°C	mm ² /s	3,5	5
Flammpunkt	°C	über 120°C	
CFFP	°C	-	
Schwefelrückstand	mg/kg		10
Koksrückstand (von 10% Destillationsrückstand)	% (m/m)		0,3
Cetanzahl		51	
Asche (Sulfat - Asche)	% (m/m)		0,02
Wassergehalt	mg/kg		500
Gesamtverschmutzung	mg/kg		24
Korrosionswirkung auf Kupfer (3h bei 50°C)	Korrosionsgrad	1	
Oxydationsstabilität, 110°C	Stunden	6,0	
Säurezahl	Mg KOH/g		0,5
Jodzahl			120
Gehalt an Linolensäure-Methylester	%(m/m)		12
Methanolgehalt	%(m/m)		0,2
Monoglycerid	%(m/m)		0,8
Diglycerid	%(m/m)		0,2
Triglycerid	%(m/m)		0,2
Freies Glyzerin	%(m/m)		0,02
Gesamtglyzerin	%(m/m)		0,25
Alkaligehalt (Na+K)	mg/kg		5
Phosphorgehalt	mg/kg		10

Die Bedeutung ausgewählter Eigenschaften und ihre Auswirkungen bei Nichteinhaltung der Mindestanforderungen kann nach [7, 8, 9, 10, 11] wie folgt zusammengefasst werden:

- Eine Reihe von Eigenschaften des Biodiesels ist herstellungsbedingt und in der Regel nicht auf die Eigenschaften des verwendeten Pflanzenöls zurückzuführen. So können Merkmale einer ungenügenden Umesterung (z.B. Methanolgehalt, Triglyceride, Monoglyceride, Diglyceride sowie freies Glyzerin und Gesamtglyzerin) zum Verschleiß im Einspritz- bzw. Brennersystem und zur Verkokung im Brennraum führen. Mit steigendem Methanolgehalt sinkt der Flammpunkt.

- Ein erhöhter Alkaligehalt kann zu Seifenablagerungen und Maschinenstillstand durch Filterversatz führen und auch Ursache für erhöhten Aschegehalt sein.
- Besondere Aufmerksamkeit muss auf die Kraftstoffstabilität sowie die Einhaltung des Grenzwertes des Phosphorgehaltes gelegt werden. Phosphor liegt in Pflanzenölen in Form von Phospholipiden vor. Die Hydratisierbarkeit mit Wasser bewirkt, dass phosphatreiche Öle durch die Einwirkung von Temperaturunterschieden und die damit verbundene Kondenswasserbildung Ablagerungen abscheiden. Diese Ablagerungen können einen guten Nährboden für mikrobielle Zersetzung bilden. Neben der Hydratisierbarkeit und Minderung der Oxydationsstabilität senkt Phosphor die Verbrennungstemperatur und ist in Ablagerungen im Motor nachweisbar. Darüber hinaus weisen Oxidationskatalysatoren eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Phosphorverbindungen auf. Grenzwertverletzungen kommen jedoch praktisch nicht mehr vor [11].
- Durch die Einwirkung von Sauerstoff kann die Qualität des Biodiesels durch auftretende Oxydationsprozesse drastisch gemindert werden. Unterstützt wird dies durch Licht, Wärme und katalytisch wirkende Schwermetalle. Es entstehen schwer lösliche Verbindungen, wodurch die Kraftstofffilter verstopfen können. Weiterhin können Wechselwirkungen mit dem Schmieröl auftreten. Der Alterungszustand wird durch die Oxydationsstabilität beschrieben. Pflanzenöle mit einem höheren Anteil an ungesättigten Fettsäuren (z.B. Sonnenblumenöl, Rapsöl, Sojaöl) weisen eine geringere Oxydationsstabilität auf als Öle mit höherem Anteil an gesättigten Pflanzenölen (z.B. Palmöl, Kokosöl). Biodiesel auf Basis der Verwendung von Ausgangsstoffen mit einem hohen Anteil an gesättigten Fettsäuren weisen dagegen schlechte Kälteeigenschaften auf. So wurden Filterverstopfungen auf die Verwendung von Palmölmethylestermischungen zurückgeführt [8]. Damit hängen wesentliche Eigenschaften des Biodiesels von der Wahl des Rohstoffes ab. Zur Verbesserung der Oxydationsstabilität und Einhaltung der geforderten Kälteeigenschaften (insbesondere Winterdiesel), werden entsprechende Additive eingesetzt. Die Mehrzahl der Additive ist nach [8] jedoch nur für die Verwendung bei RME geprüft.
- Ein Maß für die Anzahl der freien Fettsäuren ist die Neutralisationszahl (bzw. Säurezahl). Sie ist stark vom Raffinationsgrad und der Alterung abhängig. Wasser im Öl sowie Mikroorganismen und Enzyme können eine hydrolytische Spaltung der Triglyceride bewirken und zu einem Anstieg der Neutralisationszahl führen. Saure Verbindungen

können zu Korrosion, Verschleiß und Rückstandsbildung im Motor führen und in Wechselwirkung mit Komponenten des Schmieröls treten.

- Besondere Berücksichtigung müssen beim Biodieseinsatz seine Eigenschaften als Lösungsmittel finden. Dies betrifft die Lagerung (Tank, Tankbeschichtungen, Tankeinrichtungen) sowie den Motorbetrieb (Dichtung, Kraftstoffschläuche, Membranen). Es sind hier entsprechende RME - resistente Materialien und Beschichtungen (z.B. aus Fluorkautschuk) einzusetzen bzw. entsprechende betroffene Bauteile nach Herstellervorgabe regelmäßig (z.B. jährlich) auszutauschen.

Andere Kraftstoffeigenschaften sind gegenüber Dieselmotoren eher positiv zu bewerten. So ist Biodiesel von Natur aus fast schwefelfrei und dementsprechend sind die SO₂- Emissionen und der Ausstoß von an Partikeln angelagerten Sulfaten gering. Trotzdem besitzt Biodiesel eine gute Eigenschmierfähigkeit. Dieses drückt sich in einem HFRR - Wert von ca. 200 µm aus. Hoch entschwefelter Mineralöldiesel (ohne Additiv) weist dagegen einen HFRR- Wert von 500 µm und höher auf. Ebenfalls positiv ist die von Natur aus hohe Cetanzahl. Sie liegt in Bereichen von 56 bis zu 58.

3.4 Zumischung biogener Kraftstoffkomponenten zu Dieselkraftstoffen

Die folgende Tabelle 3.6 zeigt beispielhaft die Auswirkung der Beimischung von 5 Vol-% und von 20 Vol-% Biodiesel auf die Eigenschaften schwefelarmer Kraftstoffe nach [5] bei Verwendung des aufgeführten Dieselkraftstoffs DK-1. Des Weiteren sind beispielhaft Parameter bei einer Zumischung von 1 Vol-% RME nach [4] aufgeführt.

Tabelle 3.6: Prüfparameter - Beimischungen - Biodiesel zu schwefelarmem Kraftstoff [5, 4]

Eigenschaften		DIN EN 590	DK – 1	B5-Blend	B20 Blend	DK
		min.		5 % - RME	20 % - RME	1 % - RME
		max.	[5]	[5]	[5]	[4]
Cetanzahl	-	51,0 -	-	52,6-55,8	52,3-55,6	k.A.
Dichte bei 15°C	kg/m ³	820 845	836,3	826,8-838,5	837,2-845,3	830
Schwefelgehalt	mg/kg	- 50	9,5	8-9	7-8	5,0
Flammpunkt	°C	> 55 -	67,0	59,5- 67,5	61,5- 70,5	90
Koksrückstand	% (m/m)	- 0,30	< 0,01			
Aschegehalt	% (m/m)	- 0,01	< 0,01			
Wassergehalt	mg/kg	- 200	52			
Oxydationsstabilität	h		1,24	18,2 – 40,6	14,0 – 19,8	2,1 (IP 306)
Lubricity	µm	- 460	327	225-251	203-243	273
Viskosität 40 °C	mm ² /s	2,00 4,50	2,58	2,1 – 2,667	2,364 – 2,858	3,38
Neutralisationszahl	mg KOH/g			0,01-0,08	0,03-0,09	0,02
Gesamtverschmutzung	mg/kg			2-5	2-3	7,5
FAME-Gehalt	Vol %			4,7	18,3-19	
Cloud point	°C			-1- -13	-25 - 0	k.A.
CFPP	°C			-2 - - 13	-2 - - 25	k.A.

Die Anforderungen der Norm DIN EN 590 werden bei allen untersuchten Kraftstoffmischungen in [5] erfüllt. Die Oxydationsstabilität, die sich bei den Beimischungen zum Teil deutlich unterscheidet, wird in dieser Norm derzeit nicht erfasst. Auch weitere für den Einsatz wichtige Eigenschaften, wie z.B. das Lösungsmittelvermögen, werden nicht berücksichtigt.

Die Untersuchungen in [4] bestätigen diese Aussage bis zu einem Anteil von 5 Vol-% RME. Die verwendeten Biodieselmuster wiesen hier jedoch eine sehr geringe Oxydationsstabilität auf, sodass der Grenzwert nicht eingehalten werden konnte.

Folgende Einflüsse auf die Eigenschaften des Dieselkraftstoffs lassen sich bei Zumischung von RME zusammenfassen:

- Dichte, Viskosität, CCR - Wert und Flammpunkt nehmen mit zunehmendem RME- Anteil zu.
- Das Siedeverhalten wird zu höheren Temperaturen verschoben.
- Der Schwefelgehalt nimmt ab.
- Cetanzahl / Cetanzahlindex weisen keine messbare Veränderung bei 1 Vol-% Zumischung [4] auf. Nach Werten in [22] ist eine Erhöhung der Cetanzahl bei B5 und B20 möglich.
- Die Schmierfähigkeit (HFFR- Test) weist deutliche qualitative Änderungen auf. Bei [4] wird bei Gehalten ab 1 Vol- % der HFFR- Wert von 460 unterschritten und es kommt zur vollständigen Ausbildung eines Schmierfilms ohne zusätzliche Additive. Es wird davon ausgegangen, dass ab 1 Vol-% Anteil ein elastohydrodynamischer Schmierfilm vorliegt. Bei 0,75 Vol-% liegt ein Übergangsbereich vor. Durch den RME- Anteil werden die bei der Herstellung schwefelfreier Dieselkraftstoffe teilweise verlorenen polaren Verbindungen ersetzt.
- Biodiesel enthält keine polyaromatischen Kohlenwasserstoffe, so dass bei Zumischung deren Anteil sinkt [12].
- Die Oxydationsstabilität gegenüber reinem FAME - Kraftstoff verbessert sich (deutliche Erhöhung der Induktionszeit). Im Vergleich der verwendeten DK - Muster ergibt sich jedoch ein uneinheitliches Bild. Bei [4] nimmt die Oxydationsstabilität mit zunehmendem Biodieselanteil ab, bei [5] ist für einen Kraftstoff sogar eine Erhöhung der Induktionszeit gegenüber dem reinen DK gemessen worden. Die Kraftstoffe mit 20 Vol-% Biodieselanteil (B20) weisen gegenüber 5 Vol-% Biodieselanteil eine geringere Oxydationsstabilität auf. Sie liegen aber deutlich oberhalb der verwendeten Biodieselmuster. Die Induktionszeit des reinen Diesels hat auf die Induktionszeiten der Blends mit 20 Vol-% Beimischungen einen geringeren Einfluss. Muster mit längeren Induktionszeiten haben nach [5] tendenziell auch geringere Sludge- und Gesamtsäurebildung. Die Oxydationsstabilität lässt sich nach den vorliegenden Ergebnissen auch bei bekannter Induktionszeit des verwendeten DK und RME schwer vorhersagen.

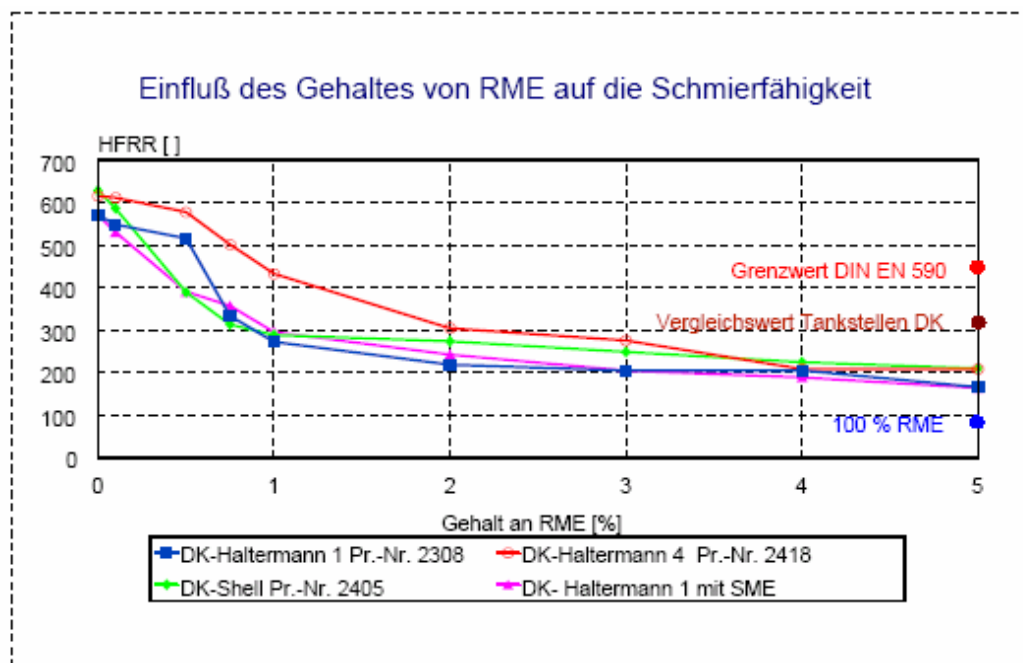


Abb. 3.1: Einfluss des RME- Gehaltes auf die Schmierfähigkeit [4]

Untersuchungen zur Lagerung unterschiedlicher biogener Kraftstoffe nach [13] zeigen, dass sich die Peroxydzahl als Maß für den oxydativen Verderb bei einem RME- Anteil von 10 Vol-% im DK bis zu einer Dauer von 96 Wochen im Metalltank (Lagertemperatur 5°C), im PE- Metalltank und PE-Tank in Räumen sowie Metalltank (im Freien, schattenlos) kaum bzw. nicht ändert.

Nur nach Einwirkung von Licht (PE - Tank im Freien, schattenlos) ist ein stärkerer Anstieg der Peroxydzahl zu verzeichnen. Dies zeigt, dass bei Einhaltung der Umgebungsbedingungen eine stabile Lagerung von Kraftstoffmischungen unter 10 Vol-% möglich ist. Ob bei vorhandenen Tanks und Tankeinrichtungen schon bei geringerer Beimischung von RME die gleichen Vorkehrungen, wie sie bei 100 % RME empfohlen werden, notwendig sind, bedarf weiterer Untersuchungen (Tankbeschichtung, lösen alter Ablagerungen usw.).

Im Rahmen der Studie des DGMK [5] wurden auch Wechselwirkungen von FAME- und Dieseladditiven bei 5 Vol-% bzw. 20 Vol-% RME oder Altspeiseölmethylester untersucht. Es wurden folgende Additive eingesetzt:

DK	Fließverbesserer (MDFI)	500 ppm
	Wax Anti Settling Additive (WASA):	250 ppm
FAME	Kälteadditive (MEFI):	2500 ppm
	Oxydationsstabilisator (BHT)	100 ppm (B5), 500 ppm (B20)

Bei den durchgeführten NO-Harm-Untersuchungen (Emulsionsverhalten, Mindestmischtemperatur, Korrosionsverhalten, Langzeitstabilität, Schaumverhalten) lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

- B5- Blends:
- Es wurde kein negativer Einfluss auf die Ergebnisse durch die Zumischung des RME zum DK registriert.
- B20- Blends:
- Die Schaumbildung wird bei der Zumischung von 20 Vol-% FAME negativ beeinflusst. Die Neigung zur Emulsionsbildung wird verstärkt. Ein anderer Einfluss von FAME und FAME-Fließverbesserer war nicht feststellbar.
 - Durch den Oxydationsstabilisator kann das Emulsionsverhalten verändert werden. Auf Langzeitstabilität, Mindestmischtemperatur und Schaumverhalten wurde kein negativer Einfluss registriert.

Für den Einsatz von Kraftstoffmischungen lassen sich allgemein folgende Aussagen treffen:

- Für B5-Kraftstoffe, die den Anforderungen der Normen DIN EN 590 und DIN EN 14214 entsprechen, liegen Freigaben von den Motorenherstellern vor. Prüfstandsuntersuchungen [4, 5] zeigen, dass bei diesen Beimischungen kein verstärktes Belags- und Verschleißrisiko festzustellen ist.
- Mit zunehmendem Anteil von Biodiesel im Kraftstoff kommen auch dessen Kraftstoffeigenschaften positiv (Schmierfähigkeit) oder negativ (Kraftstoffstabilität, Lösungsvermögen) zum Tragen und müssen bei der Verwendung als Kraftstoff gegebenenfalls durch Anpassung / Umrüstung des Motors berücksichtigt werden. So zeigt sich, dass bei einer Erhöhung des Biodieselanteils von 5 auf 10 Vol-% NBR-Elastomere merklich an Reiß- und Zugfestigkeit verlieren und sich das Quellverhalten deutlich erhöht [12, 14].
- Bei Einhaltung entsprechender Umgebungsbedingungen (kühl, dunkel) kann RME und Blend ohne deutliche Veränderungen über längere Zeit (max. 2 Jahre) gelagert werden [13].
- Bei welcher Beimischung die gleichen Vorbereitungen der Tanks und Tankanlagen wie bei reinem Biodiesel notwendig sind, bedarf weiterer Untersuchungen.

4. Bewertung der Kraftstoffverträglichkeit in den in der Binnenschifffahrt eingesetzten Energieanlagen

In der Binnenschifffahrt ist zu erwarten, dass für die Fahrtgebiete der Schiffe einheitliche Regelungen zur Einhaltung von Grenzwerten und einzusetzenden Kraftstoffqualitäten getroffen werden. Bei Umstellung auf eine neu zu verwendende Kraftstoffqualität sind spezielle Forderungen an Lagerung, Aufbereitung und Anwendung der Kraftstoffe zu berücksichtigen. Diese werden durch entsprechende Maßnahmen zur Anpassung bestehender Systemkomponenten, durch Anpassung des Motormanagement sowie durch den Einsatz geeigneter Schmier- und Betriebsmittel umgesetzt. Ein ständiger Wechsel der Kraftstoffqualitäten ist daher nicht sinnvoll und wird für die weiterführenden Betrachtung ausgeschlossen.

In der Binnenschifffahrt kommen sowohl bei älteren Motoren, als auch bei Neumotoren ausschließlich mittelschnell laufende und schnell laufende Dieselmotoren als Hauptantrieb der Schiffe, als Bugstrahlruder sowie als Generator-, Pumpen- und Windenantriebe zum Einsatz. Die Leistungsklassen für die Hauptantriebe liegen im Bereich 150 kW – 1300 kW, bei Antrieben für die Bugstrahlruder und Ladepumpen 100 – 300 kW. Die Leistungen der Generator- und Windenantriebe sind mit 10 – 50 kW deutlich geringer.

Motoren der Leistungsklasse 150 – 1300 kW und größer werden von einigen wenigen Motorenherstellern mit Anpassungen an die entsprechende Motorenanwendung gebaut und im Service betreut. Für Motoren kleiner Leistung gibt es sehr viele Hersteller, die eine Vielzahl standardisierter Motoren für unterschiedlichste Anwendungen fertigen.

In der folgenden Bewertung der Kraftstoffverträglichkeit wird im Wesentlichen auf die Hauptantriebe und die Bugstrahlruderantriebe eingegangen. Die Grundlage hierfür bildet die aus der Studie „Erarbeitung von Verfahren zur Ermittlung der Luftschadstoffemissionen von in Betrieb befindlichen Binnenschiffen“ verfügbare Datenbasis zu installierten Hauptmotoren in den Binnenschiffen sowie die Datenbasis des Binnenschiffsbestandes der ZSUK (Stand 2007).

Mit der durch die ZSUK zur Verfügung gestellten Datenbasis lässt sich die Unmenge der erfassten Hilfsmotoren für Generator- und Windenantriebe in der Binnenschifffahrt bezüglich der Kraftstoffverträglichkeit nicht belastbar analysieren. Hier sind nur grundsätzliche Aussagen möglich.

Für Heizkessel auf Schiffen existiert keine belastbare Datenbasis. Der Leistungsbedarf der Heizkessel wird für weiterführende Untersuchungen aus wichtigen Schiffsparametern abgeleitet /15/.

4.1 Schwefelarme, schwefelfreie Kraftstoffe

4.1.1 Motorenanlagen

4.1.1.1 Kraftstoffsystem

Einspritzsystem

Durch die Reduzierung des Schwefelanteils auf 50 ppm bzw. 10 ppm wird die Schmierfähigkeit des Kraftstoffs maßgeblich beeinflusst. Die Schmierfähigkeit des Kraftstoffs ist wichtig für die Schmierung der bewegten Bauteile an der Einspritzpumpe und der Einspritzdüse des Dieselmotors. In Abhängigkeit der konstruktiven und technischen Parameter der zum Einsatz kommenden Einspritzsysteme ergeben sich grundsätzliche Anforderungen an den verwendbaren Kraftstoff.

Die in der Binnenschifffahrt als Haupt- und Bugstrahlruderantrieb eingesetzten Motoren liegen in einer Leistungsklasse, in der Einzel- oder Reiheneinspritzpumpe, bei neueren Motoren auch Common-Rail-Systeme eingesetzt werden. Im Gegensatz zu Verteilereinspritzpumpen, die vorwiegend bei Dieselmotoren kleiner Leistung zum Einsatz kommen, erfolgt die Schmierung des Triebwerks der Einzel- und Reiheneinspritzpumpen separat oder ist mit dem Umlaufschmierölssystem des Motors gekoppelt. Die Schmiereigenschaften des Kraftstoffs kommen nur in den Kraftstoff fördernden Bauteilen (Einspritzpumpenplunger, -zylinder) zum Tragen. Anders verhält es sich bei Verteilereinspritzpumpen und modernen Common-Rail-Systemen. Die Schmierung aller bewegten Bauteile wird durch den Kraftstoff gewährleistet. Moderne Dieselmotoren kleiner Leistung können auch mit Pumpe-Düse-Systemen ausgerüstet sein, bei denen hochlegierte Motorenschmieröle die Schmierfunktion der meisten Bauteile übernehmen.

Die Anforderungen an das tribologische System der Kraftstoff fördernden Bauteile (Plunger und Zylinder) sowie der Einspritzdüse sind infolge der hohen Passgenauigkeit und den damit verbundenen geringen Querkräften, die eine Zerstörung des Schmierfilms bewirken können, gering. Maßgeblich für das Verschleißverhalten sind im Wesentlichen Kraftstoffverunreinigungen [4].

Die im Triebwerk von Verteilereinspritzpumpen an Wälzlagern, Zahnrädern, Stößeln und Rollen wirkende hydrodynamische Schmierung, erfordert besondere Schmiereigenschaften des Kraftstoffs. In diesen hoch belasteten Bauteilen treten große Flächenpressungen und Drücke an bewegten Körpern auf, die nur bei Ausbildung eines hydrodynamischen Schmierfilms eine Mischreibung und damit einen erhöhten Verschleiß an den Körperflächen verhindern können.

Zur Bewertung der Schmierfähigkeit des Kraftstoffs wurde durch die Mineralöl- und Motorenindustrie das in Abschnitt 3.1 beschriebene Verfahren, der HFRR-Test, entwickelt.

Entsprechend den im Abschnitt 3.1 ausgeführten Eigenschaften schwefelarmer bzw. -freier Diesel- oder anderer einsetzbarer Gasölkraftstoffe wird die Schmierfähigkeit der Kraftstoffe durch den Einsatz von Additiven erreicht. Geeignete Additive sind verfügbar und werden durch die Mineralölindustrie dem normgerechten Kraftstoff zugesetzt. Sie sichern eine ausreichende Schmierfähigkeit, verhindern Ablagerungen im Kraftstoffsystem und beeinflussen den Verbrennungsprozess positiv. Auch der Zusatz biogener Kraftstoffe, wie RME, bewirkt eine Erhöhung der Schmierfähigkeit des Kraftstoffs. Bei einem biogenen Kraftstoffanteil von mehr als 1 Vol- % RME wird die geforderte Schmierfähigkeit von 460 μm auch ohne Zusatz von Additiven erreicht [4].

Bei Gewährleistung einer Schmierfähigkeit des Kraftstoffs von 460 μm ist davon auszugehen, dass ein sicherer Betrieb des Motors mit den jeweils zum Einsatz kommenden Einspritzpumpen und -düsen grundsätzlich gegeben ist. Dies wird durch die Einspritzpumpenhersteller BOSCH und L'Orange bestätigt. Zum Verschleißverhalten von Einspritzpumpenplunger und Einspritzdüsenadel alter Motoren, die zum Teil nicht beschichtet sind, liegen hingegen keine gesicherten Ergebnisse vor.

Empfehlung

Infolge der sich über den Betrachtungszeitraum veränderten konstruktiven Parameter der Einspritzpumpen und veränderten Materialeigenschaften sollten die zyklischen Wartungs- und Instandsetzungsintervalle der Motoren genutzt werden, um das Verschleißverhalten der Bauteile zu prüfen. Ein Heißlaufen oder Misch- bzw. Festkörperreibung der Gleitpaarung ist nicht zu erwarten. Bei Bedarf sind Pumpenelemente und Einspritzdüsen durch beschichtete Elemente zu ersetzen. Die durch Service- oder Vertragswerkstätten realisierbaren Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen erfordern keine wesentlichen zusätzlichen Kosten.

Dichtungen

Eine Schädigung von Dichtungsmaterial durch den Einsatz schwefelarmer bzw. –freier Kraftstoffe speziell in Einspritzpumpen ist nicht zu erwarten, da die europäische Mineralölindustrie den Anteil aromatischer Kohlenwasserstoffe, durch den Dichtungen geschädigt werden können, entsprechend den gültigen Normen begrenzt.

Als Dichtungsmaterial kommen bereits seit den 50er Jahren elastomere Dichtungsmaterialien wie Fluor – Kautschuk (Viton) sowie Nitril – Butadien - Kautschuk (NBR) zum Einsatz.

Empfehlung

Durch den Einsatz schwefelarmer- bzw. –freier Kraftstoffe ergeben sich keine gesonderten Anforderungen bezüglich der Dichtungseigenschaften sowie keine gesonderten Wartungs- und Instandsetzungsanforderungen.

Filter

Eine Schädigung oder Beeinflussung der eingesetzten Kraftstofffilter ist durch den Einsatz schwefelarmer bzw. freier Kraftstoffe auszuschließen.

Empfehlung

Durch den Einsatz schwefelarmer- bzw. –freier Kraftstoffe ergeben sich keine gesonderten Anforderungen bezüglich der eingesetzten Filter sowie keine gesonderten Wartungs- und Instandsetzungsanforderungen.

4.1.1.2 Verbrennungsprozess

Die für die Verbrennung im Dieselmotor maßgeblichen Kraftstoffparameter werden durch den Einsatz schwefelarmer bzw. -freier Kraftstoffe nicht beeinflusst. Flammpunkt, Siedeverlauf (Tabelle 3.4) und Brenndauer können variieren. Dadurch wird der Zündzeitpunkt und der Verbrennungsverlauf sowie die Verbrenndauer beeinflusst. Dies kann bei Bedarf über motorspezifische Einstellparameter kompensiert werden.

Derzeit wird durch Fachgremien der CIMAG geprüft, ob sich die Wirkungen diesbezüglich veränderter Zündeigenschaften in nationalen und internationalen Normungen durch neue Kennwerte der Zündeigenschaften von Kraftstoffen niederschlagen müssen [16].

Empfehlung

Bei erkennbaren veränderten Zündeneigenschaften und deren Wirkung auf den Verbrennungsprozess sind über motorspezifische Einstellparameter Korrekturen zur Gewährleistung einer optimalen Verbrennung zu realisieren. Die durch Service- oder Vertragswerkstätten realisierbaren Korrekturen der motorspezifischen Einstellparameter erfordern im Rahmen der zyklischen Wartungs- und Instandsetzungsmaßnahmen keine wesentlichen zusätzlichen Kosten.

4.1.1.3 Abgasemissionen

Der Einsatz schwefelarmer bzw. -freier Kraftstoffe führt infolge reduzierter Abgasemissionen zu einer Umweltentlastung.

Hoher Schwefelgehalt im Kraftstoff führt zu hohen SO_2 – Emissionen im Abgas mit stark Umwelt schädigenden Wirkungen. Es existiert ein nahezu linearer Zusammenhang.

$$\text{SO}_2 = (21,9 \times \text{S}) - 2,1 \text{ kg / Kraftstoff}$$

Aus diesem Grund werden national und international große Anstrengungen unternommen, den Schwefelgehalt im Kraftstoff zu reduzieren. Das gilt für den LKW- und PKW - Verkehr und in zunehmendem Maße auch für die Binnen- und Hochseeschifffahrt.

Darüber hinaus hat der Schwefelgehalt des Kraftstoffs Einfluss auf die Partikelemission (ca. 10 % - 20 % Reduzierung). Das gilt sowohl für die Quantität als auch für die Partikelstruktur.

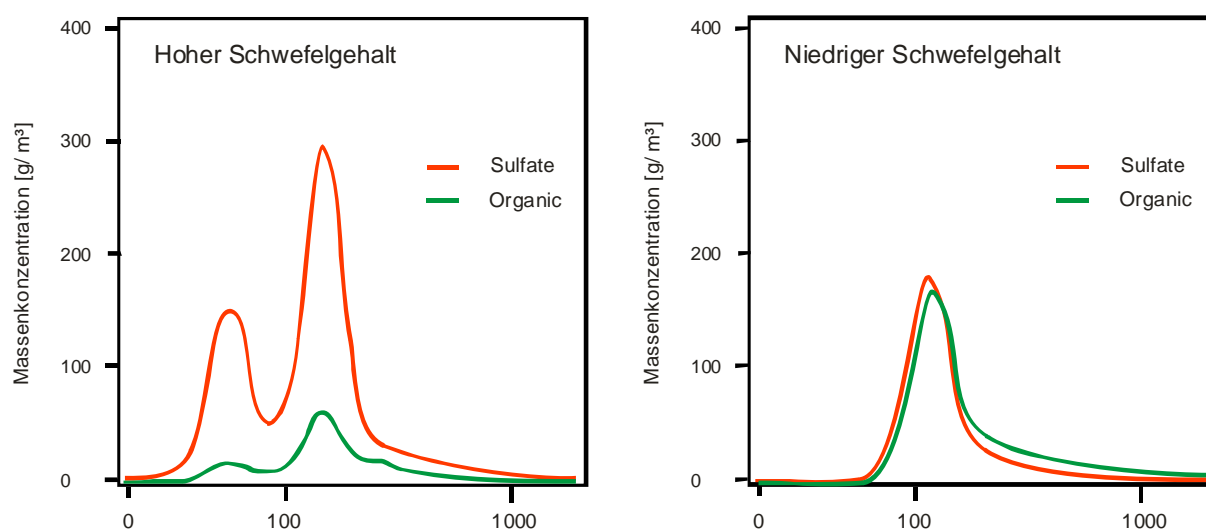


Abbildung 4.1.: Größenverteilung, separiert nach chem. Zusammensetzung nach [17]

Die Partikelzusammensetzung ist ebenfalls stark vom Schwefelgehalt abhängig, z.B.

Schwefelgehalt 3 % :	Sulfate / Metalloxide	– 60 %
	Ruß	– 25 %
	CH	– 10 %
	H ₂ O	– 5 %
Schwefelgehalt 0,1 %	Sulfate / Metalloxide	– 10 %
	Ruß	– 45 %
	CH	– 40 %
	H ₂ O	– 5 %

Empfehlung

Der Einsatz schwefelarmer bzw. –freier Kraftstoffe wirkt sich ausschließlich positiv auf das Emissionsverhalten der Motoren aus. Es ergeben sich keine gesonderten Anforderungen an den Motorbetrieb oder die zyklischen Wartung- und Instandsetzungsanforderungen.

4.1.1.4 Brennraum umschließende Bauteile

Es ist davon auszugehen, dass der Einsatz schwefelarmer bzw. -freier Kraftstoffe bei entsprechenden Anpassungen der verbrennungstechnischen Einstellparameter keinen wesentlichen Einfluss auf das Verhalten der Brennraum umschließenden Bauteile hat. Die thermische Bauteilbelastung durch Anlagerungen von Rußpartikeln sowie die Nasskorrosion reduziert sich.

Zu beachten ist jedoch, dass sich aus dem veränderten Verbrennungsverlauf schwefelarmer bzw. –freier Kraftstoffe großflächig hochmolekulare, organische Rückstände in den Hohnriefen der Zylinderbuchse anlagern können und so das Öltragevermögen der Buchse deutlich reduzieren. Bei hohen thermischen und mechanischen Belastungen führt dies zur so genannten Verlackung der Buchsenoberfläche. Auch der Einsatz von Motorenölen mit einer hohen TBN (hohe Basenzahl) kann bei der Verbrennung schwefelarmer bzw. –freier Kraftstoffe die Verlackung der Buchsenoberfläche befördern.

Generell ist festzustellen, dass der Nutzmitteldruck (p_e) sowie die mittlere Kolbengeschwindigkeit (c_m) und damit die thermischen und mechanischen Belastungen der brennraumumschließenden Bauteile in den letzten 50 Jahren deutlich gestiegen sind (Abbildung 4.2). Die in der Binnenschifffahrt eingesetzten älteren Motoren sind einer deutlich geringeren Belastung ausgesetzt [1]. Die Verlackungsneigung infolge hoher Temperatureinwirkungen bei älteren Motoren ist demzufolge geringer als bei neueren Motoren. Durch Anpassung und Optimierung des Verbrennungsprozesses kann eine Verlackung der Lauffläche der Zylinderbuchse verhindert werden.

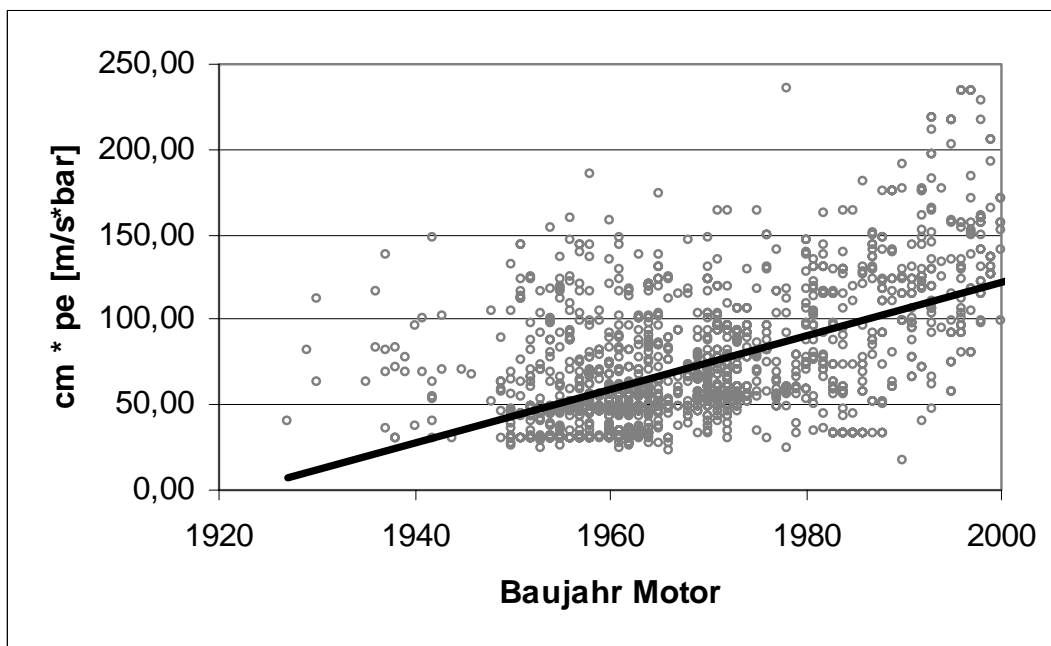


Abbildung 4.2: Entwicklung mittlere Kolbengeschwindigkeit * Nutzdruck ($c_m * p_e$)
– für Hauptantriebsmotoren in der deutschen Binnenschifffahrt [1]

Der Verlackungsneigung durch Umlauföle mit einer hohen TBN wird durch gezielte Abstimmung zwischen eingesetztem Kraftstoff und Motorschmieröl entgegengewirkt. Hierzu bieten die Mineralölhersteller spezielle Schmierölprodukte – beispielsweise Mobilgard Delvac 1600 für mittelschnell laufende Dieselmotoren mit einem Kraftstoffschwefelgehalt von 0,3 % – 1,5 % (ExxonMobil) – an.

Die Schmierung der Ein- und Auslassventile erfolgt auf der Ventilsitzfläche durch die Schmiereigenschaften des Kraftstoffs. Die Schmierung zwischen Ventilführung und Ventilschaft wird über das Umlauföl des Motors gewährleistet.

Empfehlung

Innerhalb der zyklischen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen sollte das Bauteil- und Verschleißverhalten von Kolben, Kolbenringen und Zylinderbuchse kontinuierlich geprüft und dokumentiert werden. Bei steigenden Verschleiß- oder Verschmutzungs- und Verklackungsraten ist auf kürzere Wartungsintervalle bzw. eine erneute Anpassung von Kraftstoff und Schmierölqualität zu orientieren. Durch Optimierung des Verbrennungsprozesses kann eine mögliche Verlackung der Lauffläche der Zylinderbuchse verhindert werden. Der Einsatz höherwertiger Materialien für Ein- und Auslassventile und deren Ventilsitze kann erhöhten Verschleiß an diesen Bauteile verhindern. Die Leistungen können durch Service- oder Vertragswerkstätten ohne wesentliche Zusatzkosten erbracht werden.

4.1.1.5 Abgassystem

Die Verbrennungsprodukte werden über das Abgassystem abgeleitet. Zur weiteren Entlastung der Umwelt können Partikelfilter oder Katalysatoren in das Abgassystem integriert sein.

Durch den Einsatz schwefelarmer bzw. -freier Kraftstoffe reduziert sich die Gefahr der Taupunktunterschreitung im Abgassystem. Eine Taupunktunterschreitung führt zur Bildung schwefliger Säure, die eine erhöhte Korrosion im Abgassystem bewirkt.

Die Partikelemission reduziert sich durch den Einsatz schwefelfreier Kraftstoffe um 10 % - 20 %. [18, 19]. Das gilt insbesondere für die Sulfat - Partikel. Da eingesetzte Partikelfilter durch die Ablagerung von Sulfaten geschädigt werden, ist der Einsatz schwefelarmer Kraftstoffe vorteilhaft und reduziert die Betriebskosten.

In der Abgasnachbehandlung werden Katalysatoren eingesetzt, die durch Schwefel „vergiftet“ werden. Der Einsatz schwefelfreien Kraftstoffs führt zu längeren Standzeiten und damit zu einer Kostenreduzierung.

Empfehlung

Der Einsatz schwefelarmer bzw. -freier Kraftstoffe wirkt sich ausschließlich positiv auf das Bauteilverhalten des Abgassystems aus. Es ergeben sich keine gesonderten Anforderungen an den Motorbetrieb oder die zyklischen Wartungs- und Instandsetzungsanforderungen.

4.1.1.6 Schmierölsystem

Der Einsatz schwefelarmer bzw. –freier Kraftstoffe bedingt den Einsatz spezieller an den Kraftstoff angepasster Schmieröle. Diese Öle werden von Mineralölherstellern angeboten. Durch Zugabe entsprechender Additive werden die für den schwefelarmen bzw. –freien Betrieb erforderlichen Schmiereigenschaften erreicht. Informationen über die Zusammensetzung und Umweltverträglichkeit der Schmierölprodukte sind nicht verfügbar.

Empfehlung

Bei Wechsel der Kraftstoffqualitäten auf schwefelarme bzw. –freie Kraftstoffe sind die Schmierölqualitäten in enger Abstimmung mit dem Motoren- und Mineralölhersteller sowie den Service- oder Vertragswerkstätten anzupassen.

4.1.2 Kesselanlagen

Seit Juli 2005 sind alle Ölheizkessel für schwefelarme Heizöle einschließlich Feuerungsanlagen als geeignet erklärt (max. 50 mg/kg). Dieses schwefelarme Heizöl ist insbesondere für Ölbrennwertgeräte geeignet und hat folgende Vorteile:

- fast rückstandsfreie Verbrennung, geringere Ablagerungen und besserer Wärmeübergang und höhere Wirkungsgrade,
- Reduzierung der Verkokungsneigung der Brennerdüse für
 - schwefelarmes Heizöl (50 ppm) – 0,03 %,
 - schwefelfreies Heizöl (10 ppm) – 0,01 % [20],
- geringere Gefahr einer Niedertemperaturkorrosion und damit verbundener Ablagerungen,
- Schwefelgehalt < 100 ppm – keine Neutralisationsverpflichtung.

Für Filter und Dichtungen gilt das für den Verbrennungsmotor oben ausgesagte. Eine Absenkung der Schmierfähigkeit wird durch den Einsatz von Lubricity - Additiven kompensiert (ohne Asche bildende Bestandteile).

Nach Untersuchungen des IWO - Institut für wirtschaftliche Ölheizung [21] kann beim Einsatz von schwefelarmem Heizöl bei Eisen- und Nickelbasiswerkstoffen so genanntes „Metal- Dusting“ im Flammenrohr auftreten. Das kann in extrem seltenen Fällen zu Zerstörungen führen und wird vor allem bei Blaubrennern mit Flammenrohrstabilisierung und Low - NO_x - Brennern mit Stauscheibenstabilisierung und Flammenkopfaufsatz beobachtet. Daher lassen einige Hersteller schwefelarmes Heizöl nur mit keramischen Flammrohren zu.

Empfehlung

Probleme beim Betrieb von Kesselanlagen mit schwefelarmen bzw. –freien Kraftstoffen sind nicht zu erwarten. Das Flammrohr bei Blaubrennern und Low - NO_x – Brennern ist im Rahmen der zyklischen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen auf „Metal- Dusting“ zu überwachen. Die in geringem Umfang zu erwartenden Störungen infolge des „Metal – Dusting“- Effekts sind durch den Einsatz keramischer Werkstoffe zu kompensieren. Diese Leistungen können von autorisierten Service- und Vertragswerkstätten bei eintretendem Schadensereignis ausgeführt werden.

4.2 Zumischung biogener Kraftstoffe (RME) zu Dieselkraftstoffen

Zur Bewertung der Kraftstoffverträglichkeit der Energieanlagen unter dem Gesichtspunkt der Zumischung von biogenen Kraftstoffen zu Dieselkraftstoffen insbesondere bei einem Biodieselanteil >5 Vol-% besteht, wie folgender Abschnitt zeigt, weiterer Untersuchungsbedarf. Deshalb wurden bei Bedarf die Erfahrungen und Empfehlungen herangezogen, die für den Einsatz von 100% Biodiesel vorliegen. Solange keine neuen Erkenntnisse zur Auswirkung von Zumischungen biogener Kraftstoffe vorliegen, sollten diese berücksichtigt werden.

4.2.1 Motorenanlage

4.2.1.1 Kraftstoffsystem

Einspritzsystem

Gegenüber herkömmlichem Dieselkraftstoff besitzt RME einen geringeren Heizwert. Damit ist in Abhängigkeit vom Biodieselanteil mit einem Kraftstoffmehrverbrauch zu rechnen. Für 100% RME wird ein Mehrverbrauch von 5 Vol-% - 10 Vol-% angegeben [7, 13, 22, 23]. Bei einer Zumischung von 5 Vol-% ergibt sich ein theoretischer Mehrverbrauch von ca. 0,5 %. Untersuchungen zum Einsatz von Kraftstoffmischungen zeigen, dass dieser Mehrverbrauch jedoch teilweise nicht nachweisbar ist [13]. Eine Anpassung der Dimensionierung des Kraftstoffsystems ist nicht notwendig.

Für mechanisch gesteuerte Einspritzsysteme wird durch Motorenhersteller [24, 25] der Einsatz von qualitätsgerechtem Kraftstoff mit 5 Vol-% Biodieselanteil (DIN EN 590, Biodieselanteil: DIN EN 14214) als ungefährlich eingestuft.

Positiv wirkt die gute Eigenschmierfähigkeit des Biodiesels, so dass der geforderte HFFR Wert von 460 ab einem Biodieselanteil von 1 Vol-% ohne weitere Additive eingehalten wird [4]. Durch die Motorenhersteller [24] wird empfohlen, innerhalb der normalen Wartungsintervalle die Komponenten des Einspritzsystems genauer zu kontrollieren, um Veränderungen gegenüber früher üblichen Verschleiß- und Verschmutzungsraten frühzeitig zu erkennen.

Erste Untersuchungen zeigen, dass beim Einsatz von Beimischungen von bis zu 5 Vol-% [4, 5] kein verstärktes Belags- und Verschleißrisiko gegenüber reinem mineralölbasiertem DK zu erwarten ist.

Empfehlung

Bis zu einem Biodieselanteil von 5 Vol-% wird der Einsatz von qualitätsgerechtem Kraftstoff als ungefährlich eingestuft. Es ist der Empfehlung der Motorenhersteller zu folgen. Die Komponenten des Einspritzsystems sind innerhalb der normalen Wartungsintervalle genauer zu kontrollieren.

Zur Auswirkung eines höheren Anteils an Biodiesel im Kraftstoff sind weitere Untersuchungen notwendig.

Dichtungen

Beim Biodieseleinsatz sind dessen Eigenschaften als Lösungsmittel zu berücksichtigen. Dies betrifft zum einen die Lagerung (Tank, Tankbeschichtungen, Tankeinrichtungen) sowie den Motorbetrieb (Dichtung, Kraftstoffschläuche, Membranen). Es sind beim Einsatz von 100 Vol-% Biodiesel entsprechende RME- resistente Materialien und Beschichtungen (z.B. aus Fluorkautschuk) einzusetzen bzw. entsprechend betroffene Bauteile nach Herstellervorgabe regelmäßig (z.B. jährlich) auszutauschen [7].

Erste Untersuchungen zur Elastomerverträglichkeit zeigen, dass bei einer Erhöhung des Biodieselanteils von 5 Vol-% auf 10 Vol-% NBR- Elastomere merklich an Reiß- und Zugfestigkeit verlieren und sich das Quellverhalten deutlich erhöht. Dabei ist ein stärkerer Effekt bei erhöhten Temperaturen mit zunehmendem Biodieselanteil zu verzeichnen [12, 26, 27]. Bei Anlagen im Bestand kann aufgrund der Vorgeschichte z.B. durch das Auswaschen von Weichmachern ein erhöhtes Schädigungsrisiko vorliegen. Bei einem Anteil von ≥ 5 Vol-% Biodiesel deutet sich eine Verschlechterung bei der Reißfestigkeit an. Andere Parameter sind ähnlich wie beim Diesel.

Empfehlung

Allgemein ist festzuhalten, dass bis zu einer 5 Vol-% Zumischung von Biodiesel ein Wechsel der Dichtungsmaterialien keine Voraussetzung für den Betrieb ist, dass jedoch die Reaktion der Dichtungsmaterialien auf den Biodieselanteil beobachtet werden muss.

Bei erkennbaren Reaktionen der Dichtungsmaterialien oder höheren Anteilen von Biodiesel sind RME- resistente Materialien und Beschichtungen (z.B. aus Fluorkautschuk) einzusetzen bzw. nach Herstellervorgabe die betroffenen Bauteile regelmäßig auszutauschen. Die Eignung z.B. von Schläuchen für Biodiesel wird von deren Herstellern ausgewiesen.

Filter

Die Lösungsmittelwirkung des Biodiesels kann zum Lösen von Dieselkraftstoffrückständen und in dessen Folge zu Filterverstopfungen führen. Deshalb werden bei reinem Biodieselbetrieb durch Hersteller [24] verkürzte Wechselraten der Kraftstofffilter (bei jedem Motorölwechsel) und ein Kraftstoff- und Motorölfilterwechsel 25 h nach Umstellung des Kraftstoffes vorgeschrieben.

Durch erhöhten „Oxydationsstress“ bei der Lagerung (hohe Temperaturen, häufiger Kontakt mit Luftsauerstoff, UV-Strahlung, Kontakt mit Buntmetallen) besteht die Gefahr einer Polymerisation, die zu einer Verdickung des Kraftstoffes und damit ebenfalls zu einer Filterverstopfung führen kann.

Da das Lösungsmittelverhalten von Dieselkraftstoff mit Biodieselanteilen nicht ausreichend bekannt ist, ist bei Einsatz dieser Kraftstoffe wie bei reinem Biodiesel der Filter nach Umstellung (erstmaligem Einsatz) zu kontrollieren. Wenn bei Anlagen im Bestand Altablagerungen durch den Biodieselanteil gelöst werden, ist mit reduzierten Filterstandzeiten über einen längeren Zeitraum zu rechnen.

Empfehlung

Beim erstmaligen Einsatz von Kraftstoffen mit Anteilen von Biodiesel bis 5 Vol-% sind die Filter nach der Umstellung zu kontrollieren. Falls aufgrund des Lösungsmittelverhaltens des Biodieselanteils Dieselkraftstoffrückstände gelöst werden, ist mit reduzierten Filterstandzeiten zu rechnen.

Bei höheren Biodieselanteilen, die nur bei durch Motorenhersteller freigegebenen Motoren einzusetzen sind, ist mit einem größeren Effekt zu rechnen. Für freigegebene Motoren sind deshalb die Herstellervorgaben zu erfragen und zu beachten.

4.2.1.2 Verbrennungsprozess

Dieselmotoren sind auf den Einsatz von mineralischem Dieselkraftstoff optimiert. Durch den Einsatz von Biodiesel - Beimengungen sind keine verbrennungstechnischen Nachteile zu erwarten. Von den Motorenherstellern wird der Einsatz von Dieselkraftstoff mit einem Biodieselanteil von max. 5 Vol-% gemäß DIN EN 590 als unbedenklich eingestuft [12].

Empfehlung

Beim Verbrennungsprozess sind aufgrund des Biodieseleinsatzes von 5 Vol-% keine Nachteile zu erwarten.

4.2.1.3 Abgasemissionen

Bei Einsatz von Biodiesel sind bis auf NO_x-Emissionen günstigere Werte z.B. bei Kohlendioxid, schwefelhaltigen Emissionen sowie Kohlenwasserstoff-, Ruß- und PAK-Emissionen gegenüber mineralischem Dieselkraftstoff zu erwarten. Untersuchungen zu abgestuften Beimischungen von RME zu Dieselkraftstoff zeigen, dass die Emissionen sich weitgehend linear mit dem Mischungsverhältnis verändern. Überproportionale Effekte konnten nicht festgestellt werden [22, 28]. So sinken beispielsweise die Kohlenwasserstoffemissionen sowie die Russzahl, während die Stickoxydemissionen mit steigendem RME-Anteil zunehmen. Unter dem Gesichtspunkt der Schadstoffminderung gibt es über die Variation der Einspritzmasse, des Einspritzpunktes und des Einspritzverlaufes Möglichkeiten, den Motor an die physikalischen Unterschiede des Biodiesels anzupassen [23, 28].

Empfehlung

Der Einsatz von Biodiesel wirkt sich bis auf die NO_x-Emissionen positiv auf das Emissionsverhalten aus. Es ergeben sich keine gesonderten Anforderungen an den Motorbetrieb. Gegebenenfalls ist unter dem Gesichtspunkt der Schadstoffminderung eine Anpassung oben benannter Parameter des Einspritzprozesses erforderlich.

4.2.1.4 Brennraumumschließende Bauteile

Der Sauerstoffanteil im Biodieselmolekül (etwa 11 %) [7], führt zu einem verbesserten Verbrennungsverlauf beim Biodieseleinsatz und damit zu deutlich weniger Ruß. Kraftstoffbedingte Rückstände an den brennraumumschließenden Bauteilen werden dadurch reduziert. Prüfstandsuntersuchungen bestätigen, dass durch den Biodieseleinsatz keine verstärkte Verkokung der Kolben und Kolbenringe zu verzeichnen ist. Auch die Zylinderlaufflächen zeigten keine biodieselspezifischen Auffälligkeiten [34]. Bedingung hierfür ist der Einsatz von qualitätsgerechtem Kraftstoff, da z.B. eine ungenügende Umesterung zu Verkokung im Brennraum führen kann. Bei einem Biodieselanteil von bis zu 5 Vol-% ist damit kein erhöhtes Belags- und Verschleißrisiko gegenüber reinem mineralölbasiertem DK zu erwarten.

Empfehlung

Durch den Einsatz von qualitätsgerechten Biodieselanteilen bis 5 Vol-% im Dieselkraftstoff wird kein erhöhtes Belag- und Verschleißrisiko erwartet. Es wird empfohlen, innerhalb der normalen Wartungsintervalle die brennraumumschließenden Bauteile genauer zu kontrollieren, um gegebenenfalls auf ein im Vergleich zum DK-Einsatz verändertes Verhalten (Verschleiß, Belag) rechtzeitig reagieren zu können.

4.2.1.5 Abgassystem

Im Abgassystem können Partikelfilter oder Katalysatoren integriert sein. Die Partikel und Russbestandteile von Biodieselabgasen unterscheiden sich von denen des Mineralölkraftstoffes. Sie haben einen höheren löslichen Anteil und sind deshalb leichter in Katalysatoren abzubauen [7]. Der Einsatz von Oxydationskatalysatoren hat den Effekt, dass der beim Einsatz von Biodiesel typische Geruch nach „Frittenbude“ vermieden wird.

Untersuchungen zeigen, dass bei Biodieseleinsatz der Auslegungsgrenzwert (Motorölverdünnung) für Dieselpartikelfilter überschritten werden kann und deshalb bei Einsatz entsprechender Filter zu kontrollieren ist [12, 14]. Bei Einsatz von normgerechten Kraftstoffen nach DIN EN 590 sind keine zusätzlichen Maßnahmen für Partikelfilter und Katalysatoren zu erwarten.

Beim Einsatz von mehr als 5 Vol-% Biodiesel im Kraftstoff bis 100 % Biodiesel ist eine Freigabe der Partikelfilterhersteller notwendig. Teilweise liegen diese Freigaben für den Einsatz von Biodiesel vor [32, 33].

Empfehlung

Wird der Norm entsprechender Biodiesel zu 100 % oder als Zumischung zum mineralischen Dieselkraftstoff eingesetzt, ist ein Betrieb von Oxydationskatalysatoren möglich und unter dem Aspekt der Reduzierung der Emissionen zu empfehlen.

Beim Einsatz bzw. der Nachrüstung von Dieselpartikelfiltern ist zumindest bei der Verwendung von mehr als 5 Vol-% Biodiesel im Kraftstoff die Eignung des Filters beim Hersteller zu erfragen. Gegebenenfalls ist ein Wechsel des Dieselpartikelfilters notwendig. Entsprechende Filter sind verfügbar. Darüber hinaus ist die Einhaltung des Auslegungsgrenzwertes für Dieselpartikelfilter (Ölverdünnung) zu beachten.

4.2.1.6 Schmierölsystem

Über die Gleitpaarung Kolben und Zylinder gelangt immer ein gewisser Anteil von Kraftstoff in das Motorenöl. Da Biodiesel ein hohes Siedende aufweist, verdunstet der Biodiesel nicht, bleibt im Motoröl enthalten und kann mit dem Motoröl in Wechselwirkung treten. Dabei ist eine Anreicherung mit Biodiesel proportional zum Anteil im Kraftstoff zu erwarten [12, 14].

Mögliche Auswirkungen der Motorölverdünnung mit Biodiesel sind:

- Verschlechterung der tribologischen Eigenschaften,
- Überbeanspruchung der Motoröladditivierung,
- Ablagerungsbildung,
- Katalysatorschäden,
- Überschreitung des Auslegungsgrenzwerts für Dieselpartikelfilter.

In einem Überblick zur Schmieröleindickung bei RME- Betrieb [30] werden Aussagen getroffen, dass bei Motortests und Gebrauchtolanalysen bis zu RME- Anteilen von 10 Vol-% - 20 Vol-% im Motoröl keine Beeinträchtigungen zu verzeichnen sind.

Aufgrund der möglichen Wechselwirkungen werden durch die Motorenhersteller beim Einsatz von 100 % Biodiesel oder Biodiesel – Diesel - Mischbetrieb in dafür freigegebenen Motoren kürzere Wechselintervalle für das Motorenöl und die Ölfilter vorgeschrieben. Die Ölwechselintervalle werden durch den Einsatz von Dieselmotorenkraftstoff gemäß DIN EN 590 mit 5 Vol-% Biodiesel nicht beeinflusst.

Empfehlung

Es ist zu empfehlen, aufgrund der möglichen Wechselwirkungen den Eintrag von Biodiesel in das Motoröl kontinuierlich z.B. über Motoröluntersuchungen innerhalb der Wechselraten zu verfolgen, um gegebenenfalls frühzeitig auf eine Beeinträchtigung der Eigenschaften des Motoröls reagieren zu können.

Bei für Biodiesel freigegebenen Motoren sind die Betriebsvorschriften der Motorenhersteller zu berücksichtigen.

4.2.2 Kesselanlagen

Biodiesel und andere biogene Kraftstoffe wurden aufgrund des geringen wirtschaftlichen Vorteils bisher kaum in Kesselanlagen eingesetzt. Erst bei neueren Entwicklungen werden Brenner für diese Kraftstoffe angeboten.

Bei der Nutzung von Biodiesel in Verbrennungsanlagen sind die gleichen Parameter wie bei dem motorischen Einsatz und ihre Wirkung zu berücksichtigen. Dies betrifft insbesondere die Verwendung von Buntmetallen, Elastomeren [29] und die Brennstoffstabilität bei der Lagerung. Untersuchungen zur Ablagerungsbildung beim Einsatz von 5 Vol-% Biodiesel in Heizöl [35] zeigten, dass die thermischen Randbedingungen des Brenners auf den Blend anzupassen sind. Bei gleichen Verdampfungsbedingungen wiesen sie gegenüber Heizöl ohne Biodieselanteil eine 10fach höhere Ablagerungsmenge auf, die sich bei geringerer Oxydationsstabilität noch weiter steigerte.

Empfehlungen

Für Kesselanlagen ist bei Einsatz eines Kraftstoffs mit einem bis zu 5 Vol-%igen Biodieselanteil mit verstärkter Ablagerungsbildung am Brenner zu rechnen, die im Rahmen der zyklischen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten durch autorisierte Service- und Vertragswerkstätten ohne wesentlich zusätzliche Kosten beseitigt werden können. Für Dichtungen, Filter sowie für die Lagerung gelten die Empfehlungen entsprechend Abschnitt 4.2.1 und Abschnitt 4.2.3.

4.2.3 Lagerung an Bord

Bei der Lagerung von Biodiesel sind zum einen die Änderungen der Kraftstoffeigenschaften (Kraftstoffstabilität), zum anderen mögliche Wirkungen des Kraftstoffes auf Anlagenteile (Lösemittelvermögen) zu beachten. Unter diesen Gesichtspunkten sind bei der Lagerung von 100 % Biodiesel durch die Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. Richtlinien für die qualitätsgerechte Lagerung herausgegeben worden, [8, 31], die folgende Punkte enthalten:

- RME- beständige Dichtflächen und Tankbeschichtungen verwenden;
- Bei Umwidmung eines Tanks (Mineralöldiesel- RME) ist der Tank vollständig zu leeren und einer trockenen Tankreinigung zu unterziehen;
- Tankreinigung alle 2 Jahre vornehmen.

- Biodieselbeständige Materialien für Dichtungen an Zapfsäulen bzw. Rohrverschraubungen einsetzen;
- Biodieselbeständigen Zapfschlauch verwenden;
- Bauteile aus Zink oder Kupfer bzw. kupferhaltige Legierungen vermeiden. Zinkschichten werden teilweise gelöst und können zur Seifenbildung führen. Kupfer wirkt als Oxydationskatalysator.

Die Wirkung von Biodieselanteilen im mineralischen Kraftstoff ist noch nicht ausreichend geklärt. Es ist davon auszugehen, dass mit zunehmendem Biodieselanteil Dichtungen und Beschichtungen aus nicht biodieselbeständigem Material angegriffen und bei Anlagen im Bestand vorhandene Ablagerungen gelöst werden, die dann zu entsprechenden Kraftstofffilterverschmutzungen führen können. Entsprechende Probleme sind in der Praxis bei der Einlagerung aufgetreten, nachdem Beimischungen von bis zu 5 Vol-% eingelagert worden sind [2].

Hohe Temperaturen, häufiger Kontakt mit Sauerstoff, UV-Strahlung und Kontakt mit Buntmetallen führen zu einer schnelleren Alterung des Biodiesels gegenüber konventionellen Dieselmotorkraftstoff. Als Gegenmaßnahme werden deshalb bei der Produktion Oxydationsstabilisatoren eingesetzt. Die Gegenwart von Wasser kann durch Hydrolyse und mikrobiellen Befall zu Problemen führen. RME ist hygroskopisch und besitzt damit eine gewisse Pufferkapazität (höher als Dieselmotorkraftstoff), sodass die Bildung von freiem Wasser vermindert wird und damit ungünstige Bedingungen für die Entwicklung von Mikroorganismen herrschen. Tritt jedoch freies Wasser auf, so kann durch den Bioanteil eine Zunahme der biologischen Aktivität unterstellt werden [12]. Diese Gefahr kann z.B. bei starken Temperaturschwankungen und Kondenswasserbildung bestehen.

Bei Einhaltung der Richtlinien für die qualitätsgerechte Lagerung und der Anforderungen an die Lagertechnik ist die Lagerung von Biodiesel bei entsprechender Biodieselqualität über einen Zeitraum von einem Jahr möglich. Bei Untersuchungen mit reinem Biodiesel und Dieselmotorkraftstoff mit einem RME- Anteil von 10 Vol-% [13] erwies sich eine Lagerung in einem Erdtank aus Metall bzw. PE (Temperaturen ca. 5°C) über 96 Wochen als unkritisch. Im abgeschlossenen Raum änderte sich die Peroxydzahl als Maß für den oxydativen Verderb der Mischung nicht bzw. kaum, bei Biodiesel stieg sie ab der 40-48 Woche auf >50meq/kg.

Im Freien, bei Temperaturschwankungen und zusätzlichem Lichteinfall, traten bei der Mischung und beim Biodiesel starke Reaktionen nach 8 bzw. 18 Wochen auf.

Im Gegensatz zu Erdtanks, in denen eine qualitätsgerechte Lagerung möglich ist, treten bei der Lagerung des Kraftstoffes an Bord größere Temperaturschwankungen und Kondenswasserbildung auf. Inwieweit diese besonderen Bedingungen, die in dieser Form beim Landeinsatz nicht zu verzeichnen sind, die qualitätsgerechte Lagerung beeinträchtigen, bedarf weiterer Untersuchungen. Weitere Untersuchungen zur Lagerung von Kraftstoffen mit unterschiedlichen Anteilen an Biodiesel laufen derzeit im IWO - Institut für wirtschaftliche Oellheizung e.V.– im Rahmen einer Langzeitstudie.

Eine für die Binnenschifffahrt spezielle Situation stellt sich durch den Einbau der Tanks und deren Lage im Binnenschiff dar. Hier kann es zu Temperaturschichtungen zwischen der am Schiffskörper liegenden Außenwand des Tanks und der im Schiffsinne liegenden Innenwand des Tank kommen. Sollten die noch laufenden Langzeituntersuchungen des IWO diesbezüglich zu keinen Ergebnissen kommen, wäre es vorstellbar, ggf. durch Langzeitversuche unter definierten, reproduzierbaren Bedingungen zu genaueren Aussagen zu kommen.

Empfehlungen

Zur Einhaltung der Qualitätskriterien ist der Kraftstoff mit Biodieselanteilen möglichst unter Luftabschluss, kühl und dunkel zu lagern. Solange aus den derzeit laufenden Langzeittests am IOW und anderen Untersuchungen keine weiteren Aussagen zur Wirkung und Kraftstoffstabilität von mineralischen Kraftstoffen mit unterschiedlichen Biodieselanteilen vorliegen, sollten den Empfehlungen für die Lagerung von 100 % Biodiesel z.B. der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. [31, 37] (siehe oben) gefolgt werden. Untersuchungsbedarf besteht insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Lagerbedingungen an Bord von Binnenschiffen (Temperaturschwankungen).

Diese könnten gegebenenfalls begleitend zur Einführung der Biokraftstoffe realisiert werden. Nach Umstellung auf Kraftstoffe mit Biodieselanteil sind die Kraftstofftanks kontinuierlich zu kontrollieren, um bei erkennbaren Wechselwirkungen und Beeinträchtigung der Kraftstoffqualität z.B. durch nachträgliche Beschichtung mit biodieselresistentem Material rechtzeitig reagieren zu können. Die Leistungen können durch die Besatzung sowie autorisierte Service- und Vertragswerkstätten realisiert werden.

5. Zusammenfassung

Grundsätzlich ist festzustellen, dass bei Einhaltung bzw. Umsetzung der in Abschnitt 4 getroffenen Empfehlungen sowohl der Einsatz schwefelarmer bzw. -freier Diesel- oder Heizölkraftstoffe als auch die Zumischung von biogenen Kraftstoffkomponenten bis zu einem maximalen Anteil von 5 Vol-% nach derzeitigem Kenntnisstand für ältere Motoren- und Kesselanlagen der deutschen Binnenschifffahrt möglich ist. Besonders zu beachten ist die Einhaltung der genormten Kraftstoffqualität bei Bunkerung sowie bei Lagerung an Bord.

Schwefelarmer bzw. -freier Kraftstoff

Zum Einsatz schwefelarmer Kraftstoffe liegen umfangreiche Untersuchungsergebnisse vor, die den problemlosen Einsatz in Motoren- und Kesselanlagen bestätigen. Entsprechende Ausführungen sind in Abschnitt 4 dieses Berichtes aufgeführt.

Motorenanlagen

Beachtenswert ist die Gewährleistung der Schmierfähigkeit des Kraftstoffs insbesondere für die Funktionsfähigkeit der Einspritzpumpen und -elemente. Hier wirken konstruktive Randbedingungen, die insbesondere bei Motoren kleiner Leistung zu beachten sind. Bei der Vielzahl unterschiedlicher in der deutschen Binnenschifffahrt installierter Motortypen liegen gerade für diese Motoren nur bedingt technische Informationen vor. Dies kann in Einzelfällen zu betriebstechnischen Störungen führen, die jedoch innerhalb zyklischer Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen durch autorisierte Service- und Vertragswerkstätten ohne wesentliche Kosten behoben werden können.

Zu berücksichtigen ist des Weiteren, dass ein Wechsel der eingesetzten Kraftstoffqualitäten stets eine neue Bewertung und Umsetzung der in Abschnitt 4 aufgeführten Empfehlungen für die zu betrachtenden Baugruppen und Bauteile der Motorenanlage erfordert.

Kesselanlagen

Probleme beim Betrieb von Kesselanlagen mit schwefelarmen bzw. -freien Kraftstoffen sind in der Regel nicht zu erwarten. Gegebenenfalls können in sehr geringem Umfang Störungen infolge des „Metal – Dusting“ - Effekts (siehe Abschnitt 4) auftreten, die durch autorisierte Service- und Vertragswerkstätten bei eintretendem Schadensereignis mit geringen Kosten zu beheben sein sollten.

Zumischung biogener Kraftstoffe

Biodiesel wird auf der Stufe der Mineralölindustrie bis zu 5 Vol-% dem mineralischen Dieselmotorkraftstoff unter Einhaltung der DIN EN 590 zugemischt. Höhere Anteile sind kennzeichnungspflichtig.

Motorenanlagen

Normgerechter Kraftstoff mit 5 Vol-% Biodieselanteil kann in Motorenanlagen unter Beachtung der Empfehlungen eingesetzt werden. Auch bei Aufmischung normgerechter Heizöle nach DIN 51603 bzw. der niederländischen VOS - Spezifikation mit einem Biodieselanteil von 5 Vol-% sind keine betriebsbedingten Probleme zu erwarten.

Entsprechend den in Abschnitt 4 detailliert beschriebenen Empfehlungen sind zusammenfassend nachfolgende Faktoren zu berücksichtigen und gegebenenfalls Maßnahmen zur Anpassung der Motorenanlagen an Bord durchzuführen:

- Kontrolle einer möglichen Reaktion der Dichtungsmaterialien,
- Kontrolle der Kraftstofffilter nach Umstellung,
- Kontrolle der brennraumumschließenden Bauteile und der Komponenten des Einspritzsystems auf ein gegenüber dem Dieselmotorkraftstoffeinsatz verändertes Verhalten,
- Kontrolle des Motoröls auf eine eventuelle Beeinträchtigung der Motoröleigenschaften durch die Verdünnung mit Biodiesel,
- Kontrolle der Kraftstofftanks und Berücksichtigung der Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. bei der Lagerung,
- Prüfung der Eignung der Abgasnachbehandlungssysteme (sofern vorhanden).

Die Kontrollen sind im Rahmen der zyklischen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen durch autorisierte Service- oder Vertragswerkstätten durchzuführen. Wesentliche zusätzliche Kosten für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen sind nicht zu erwarten.

Kesselanlagen

Für Kesselanlagen ist bei Einsatz eines Kraftstoffs mit einem bis zu 5 Vol-%igen Biodieselanteil mit verstärkter Ablagerungsbildung am Brenner zu rechnen, die im Rahmen der zyklischen Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten durch autorisierte Service- und Vertragswerkstätten ohne wesentliche zusätzliche Kosten beseitigt werden können. Zum Einsatz biogener Kraftstoffe in Kesselanlagen laufen seit ca. einem Jahr

Langzeituntersuchungen am Institut für wirtschaftliche Oelheizung (IWO) e.V., deren Ergebnisse für eine abschließende Bewertung ausstehen. Eine grundsätzliche Einschränkung der betriebstechnischen Einsatzmöglichkeit von normgerechten Kraftstoffen mit bis zu 5 Vol-% Biodiesel in Kesselanlagen ist nicht zu erwarten.

Lagerung

Eine Besonderheit beim Einsatz biogener Kraftstoffanteile in der Binnenschifffahrt sind die Bedingungen für Lagerung und Aufbereitung der Kraftstoffe an Bord. Hier wirken für die Lagerung der Biokraftstoffe veränderte Randbedingungen bezogen auf Lagerdauer und auftretende Temperaturschwankungen sowie Beschichtung der Lagertanks, die gegebenenfalls zu Problemen beim Einsatz dieser Kraftstoffe an Bord führen können. Vergleichbare Untersuchungen für die Heizkesselindustrie laufen derzeit ohne abschließende Ergebnisse. Beim Einsatz von Biokraftstoffen im Straßenverkehr sind keine Probleme bei der Lagerung der Kraftstoffe bekannt. Maßgeblich hierfür ist die Einhaltung der Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V.

Literatur

- /1/ Erarbeitung von Verfahren zur Ermittlung der Luftschadstoffemissionen von in Betrieb befindlichen Binnenschiffsmotoren
FE Vorhaben Nr. BfG/M44/2001/968/1142/6/00
Bundesanstalt für Gewässerkunde, 2001
- /2/ Studie zur Kraftstoffverträglichkeit bei älteren Binnenschiffen (Kessel/Heizung)
Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e.V., Juni 2007
- /3/ Flüssige Brennstoffe - Heizöle
DIN 51603-1, September 2003
- /4/ Auswirkungen des Zusatzes von Rapsmethylester (RME) auf die Schmierfähigkeit von schwefelarmem Dieselkraftstoff nach DIN EN 590 (neu)
Universität Rostock , FKZ: 99NR048, Juni 2001
- /5/ Untersuchung zu FAME in Dieselkraftstoffen
DGMK Forschungsbericht 639, Juli 2006
- /6/ Vergleich von Shell Mittel-Destillat, Premium- Dieselkraftstoff und fossilem Dieselkraftstoff mit Rapsölmethylester
Munack,A. u.a., FAL Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Dezember 2005
- /7/ Biodiesel Flowerpower „Fakten - Argumente – Tipps“
ufop, 1/2004
- /8/ Anforderungen an FAME aus der Sicht der Produktqualität
AG Qualitätsmanagement Biodiesel e.V., November 2005
- /9/ Standardisierung von Rapsöl als Kraftstoffuntersuchung zu Kenngrößen, Prüfverfahren und Grenzwerten
Forschungsbericht Agrartechnik, Dissertation Edgar Remmele, 2002

- /10/ Studie „Einsatz von Pflanzenölen in dezentralen Energieinseln unter besonderer Berücksichtigung der Problematik „Schwellenländer“
IBZ Hohen Luckow e.V. ; April 2005

- /11/ Einsatz von biogenen Kraftstoffen in der Landwirtschaft
Dr. agr. Hans-Gerd Brandt, Pflanzenöltagung 30.11.2005

- /12/ Bericht der Bio- Task- Force des FAM AA 632 zur Normung von Otto- bzw. Dieselmotoren mit max. 10% Ethanol bzw. FAME
Beimischung von Biokraftstoffen
Bericht der FAM AG „Beimischung von Biokraftstoffen, Mai 2007

- /13/ Verwendung von Rapsöl als Motorentreibstoff und als Heizölersatz in technischer und umweltbezogener Hinsicht
Landtechnik- Bericht Heft 15, Landtechnik Weihenstephan, 1997

- /15/ Ölbrenner – Stand der Technik und neueste Entwicklungen
Herrmann – Öl- und Gasbrenner, Nov. 2005

- /14/ Motorölverdünnung durch Biodieselanteile bei Fahrzeugen mit DPF-Abgasnachbehandlung
VDA Arbeitskreis Betriebsstoffe, 15.09.2006

- /16/ Ist schwefelarmer Kraftstoff eine Herausforderung für den Zweitakt-Schiffsdieselmotor?
Finn Q. Jensen, Schiff & Hafen 7/2005

- /17/ Aerosolmassenspektrometrie – Messung, verkehrsbedingte Partikelemission
Schneider, J.; Drewnik, F. – Max-Planck- Institut für Chemie, Mainz, 2006

- /18/ Umweltverträglichkeit der Binnenschifffahrt, CREATING NEWS
www.creating.nu, Oktober 2006

- /19/ Geringere Umweltbelastung durch verbesserte Fahrzeugbetriebsstoffe
Shell Technischer Dienst, September 1996

- /20/ Heizölqualitäten- Schweizerische Normen- Vereinigung
Normblatt 181160- 2, Mai 2006

- /21/ Bundesregierung und Mineralölwirtschaft
Ein guter Tag für den Umwelt- und Klimaschutz
Ölheizung aktuell, Seite 5. Januar 2007

- /22/ Rapsölmethylester in dieselmotorischer Verbrennung – Emission, Umwelteffekte,
Optimierungspotenziale
FAL Sonderheft 233, 2002

- /23/ Ergebnisse der Flottenerprobung beim Betrieb von Fischerbooten mit RME auf der
Mecklenburgischen Seenplatte
Dr.-Ing. Hans-H. Maack, Universität Rostock
aus dem Tagungsband „Biodiesel & Sportschiffahrt in der Euregio Bodensee“,
24.09.01

- /24/ Einsatz von alternativen Kraftstoffen in MTU- Motoren
MTU, Juni 2006

- /25/ Verwendung von Bio- Kraftstoffen in Massey- Ferguson- Traktoren und
Landmaschinen
Technische Information Landmaschinen, April 2004

- /26/ Einfluss Biodiesel auf NBR
Daimler Chrysler, Oktober 2006

- /27/ Compatibility of NBR with Diesel/ RME/ FAME
GM Engineering Task Force Bio Fuels, Januar 2007

- /28/ Erkennung des RME- Betriebes mittels eines Biodiesel- Kraftstoffsensors
FAL Bundesanstalt für Landwirtschaft, Sonderheft 257, November 2003
- /29/ Ölbrenner – Stand der Technik und neueste Entwicklungen
herrmann – Öl- und Gasbrenner, Nov. 2005
- /30/ Thuneke, K.; Wilharm, T.; Stotz, K.: Untersuchungen der Wechselwirkung zwischen
Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren, Juni 2005
- /31/ Biodiesel Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V.
Merkblatt für die Lagerung von Biodiesel (FAME) in Selbstverbraucheranlagen
(SVA) oder Eigenverbrauchsanlagen (EVA), Mai 2003
- /32/ EMINOX FBC- Diesel- Partikel- Filter- System
MOBAS- Ein Unternehmen der LARAG Gruppe, www.larag.com, Dezember 2005
- /33/ BlueTec mit SCR- die bessere Alternative
Abgassystem mit Zukunft für EURO4 und EURO5
Mercedes- Benz Omnibusse, www.mercedes-benz.com, November 2005
- /34/ Biodiesel & Co.
Biokraftstoff-Gesetzgebung, Marktentwicklung, Forschung und Entwicklung
Ufop- Bericht 2005/2006
- /35/ Ablagerungsbildung beim Einsatz von 5% Biobrennstoff- Blend (FAME) in
stationären Verbrennungsanlagen und in einem Tiegelofen
Dipl.-Ing. A. Fiscoeder, OWI GmbH, April 2006
- /37/ Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V.
Merkblatt für den Umgang mit Biodiesel in Tankstellen
Stand Mai 2004

Ergänzende Literatur

- /a/ Tiefentschwefelung von Mineralölfractionen durch Extraktion mit ionischen Flüssigkeiten
Dissertation von Jochen Esser, Universität Bayreuth, Januar 2006
- /b/ Kraftstoff Dieselmotor / Additive
www.Motorlexikon.de, Juli 2007
- /c/ Perspektiven für Anforderungen an Abgas- und Partikelemissionen aus Dieselmotoren in der Binnenschifffahrt
Workshop 2000, Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, 29.03.2000
- /d/ Motorenöle
www.umweltbundesamt.de, November 2006
- /e/ Energieeinsparung und CO₂- Minderung durch breite Markteinführung von schwefelarmem Heizöl und Öl- Brennwerttechnik
Gemeinsame Erklärung von Bundesregierung und Mineralölwirtschaft, Berlin 15.01.07
- /f/ Information der Fachpresse, Runder Tisch der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) „Auf dem Weg zum schwefelarmen Kraftstoff in der Europäischen Binnenschifffahrt“, Straßburg , 3.Mai 2007
- /g/ Possible Transition to Ultra Low Sulphur Diesel
P.G. van der Zanden, Stichting Projecten Binnenvaart, Bureau Innovatie Binnenvaart. Mai 2006
- /h/ Review of Directive 98/70/EG
Ian Hodgson, European Commission, Brüssel, September 2005
- /i/ Kraftstoff Dieselmotor / Additive
www.Motorlexikon.de, Juli 2007

- /j/ Low Sulfur Fuel: The Impact of the Marine Industry
Exxon Mobil, Mai 2005

- /k/ The Impact of Changing Marine Sulphur Legislation
Exxon Mobil, Mai 2005

- /l/ Statement of Mr. Bert de Vries on behalf of inland navigation sector within CESA the
Community of European Shipyards' Associations, Oktober 2006

- /m/ Low Sulphur Fuel for IWT, The position of the Netherlands
CCNR Round Table Sulphur, 3 May 2007, Martin Koopmans

- /n/ Considerations on Low-S Fuel for Inland Waterway Vessel Engines
CCNR Roundtable, Strasbourg, 3. May 2007, www.euromot.org

- /o/ Gelbe Energie für Binnenschiffe, Dipl.- Ing. Peter Pospiech
Binnenschiffahrt-ZfB- Nr. 1 / 2 – Januar/ Februar 2007

- /p/ Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates, 13. Oktober 1998
über die Qualität von Otto- und Dieselkraftstoffen und zur Änderung der Richtlinie
93/13/EWG des Rates

- /q/ Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates, zur
Änderung der Richtlinie 98/70/EG, Nr. xx/xx/2006, 2006

- /r/ Dritte Verordnung zur Durchführung des Bundes- Immissionsschutzgesetzes,
24.06.2002 BGBl S. 2243

- /s/ Schwefelfreier Kraftstoff
www.kfztech.de, März 2007

- /t/ Demonstrationsprojekt zum Rapsmethylester (RME)- Einsatz in umweltsensiblen aquatischen Bereichen
Prof. Dr.-Ing. U. Hansen, Abschlussbericht Universität Rostock 1997,
Förderkennzeichen 95NR023-M
- /u/ DRAFT- Entwurf einer B10- Spezifikation
VDA, Dezember 2006
- /v/ FAME in Mineralölprodukten insbesondere HEL
DGMK Forschungsbericht 590, September 2001
- /w/ Ermittlung eines technisch begründeten Grenzwertes für Schwefelgehalte in HeizölEL zur Förderung des Einsatzes von Brennwerttechnologien in Ölheizungsanlagen
DGMK Forschungsbericht 601, Dezember 2002
- /x/ Kriterienkatalog für Heizöl- EL- Additive
DGMK Forschungsbericht 646, Oktober 2004
- /y/ Öl- Brennwerttechnik und regenerative Energien
IWO Institut für wirtschaftliche Oelheizung e.V., Juni 2007
- /z/ Motoren innerhalb der weitgehend baugleichen Bonamare- Schiffsflotte
bonamare – Binnenschiffahrtsgesellschaft mbH, Juni 2007
- /aa/ BDB begrüßt Beitrag zur Modernisierung der Flotte
Binnenschifffahrtsreport Nr. 1, 2007
- /bb/ Kraftstoffe / Schmierstoffe – eingesetzt von MTU
Verband Schmierstoff- Industrie e.V., Juni 2007
- /cc/ Die aktuelle Biokraftstoff- Gesetzgebung
ufap, Stand 01/2007-06-27

- /dd/ Schmierfähigkeit Biodiesel
www.biodiesel.de, Juni 2007
- /ee/ Biokraftstoffquotengesetz, Dezember 2006
- /ff/ Erfahrung beim Einsatz von 5% Biobrennstoff- Blend (FAME) in stationären
Verbrennungsanlagen
A. Fiscoeder u.a., OWI GmbH, April 2006
- /gg/ Produktspezifikation DK – Dieselkraftstoff schwefelfrei, max. 10 ppm S
TotalFinaElf Deutschland GmbH, Februar 2003
- /hh/ Heizöl- EL – Produkt und Anwendung
IWO Institut für wirtschaftliche Oelheizung e.V., 2006
- /ii/ Produkteigenschaften und Anforderungen für Heizöl EL
www.brennstoffhandel.de, Juni 2007
- /jj/ 2- Stroke Crosshead Engine Lubrication- the future here today
Lim, K.C.; Jahrbuch der STG 2002, Seite 264
- /kk/ Kerokorr[®]LA
Produkt, www.chemicalportal.basf.com, Juni 2007
- /ll/ Produktinformation – Diesel System Cleaner
Meguin GmbH & Co. KG, www.meguin.de, Oktober 2006
- /mm/ CLAAS Erntemaschinen, Traktoren und Teleskoplader
Dieselmotoren – Hinweise zu RME
www.claas.com, März 2005
- /nn/ Biodiesel B20 für Perkins- Motoren freigegeben
Pressemitteilung 05.03.2007, www.perkins-de.com

- /oo/ Biodiesel: Probleme aus der Praxis und Lösungsvorschläge
AG Qualitätsmanagement Biodiesel e.V., Juli 2006
- /pp/ Biodiesel- Aussagen der Schlepperhersteller
ufop, Stand 10/06, www.ufop.de
- /qq/ Bioheizöl- Brennstoff der Zukunft
Allgemeine Informationen Ölheizung und Bioheizöl, Hoval
www.hoval.de, Juni 2007
- /rr/ Ermittlung der Schadstoffemissionen von Schiffsmotoren unter realen Bedingungen
im Schwerölbetrieb Germanischer Lloyd, Forschungsberichte 0436 B, 1993