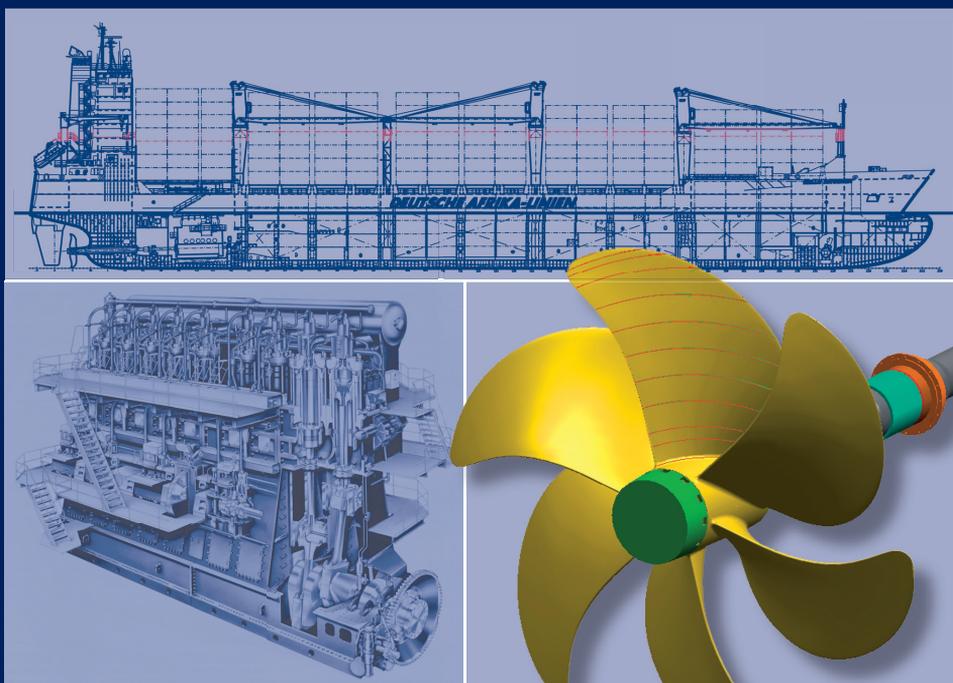


Hansheinrich Meier-Peter (Hrsg.)
Frank Bernhardt (Hrsg.)

HANDBUCH Schiffsbetriebstechnik



Betrieb – Überwachung – Instandhaltung

Seehafen Verlag

HANDBUCH

Schiffsbetriebstechnik

Betrieb – Überwachung – Instandhaltung

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Hansheinrich Meier-Peter, Glücksburg

Prof. Dr.-Ing. Frank Bernhardt, Fachbereich Seefahrt Warnemünde, Hochschule Wismar

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Günter Ackermann, TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Elektrische
Energietechnik und Automation

Prof. Dr.-Ing. Roland Behrens, Fachhochschule Bremerhaven

Prof. Dr.-Ing. Frank Bernhardt, Fachbereich Seefahrt Warnemünde, Hochschule Wismar

Prof. Dr.-Ing. Peter Boy, Fachhochschule Flensburg, Institut für Schiffsbetriebsforschung

Dipl.-Ing. Stefan Claußen, Castrol Marine Oil GmbH, Hamburg

Prof. Dipl.-Ing. Hark Ocke Diederichs, Fachhochschule Flensburg

Dipl.-Ing. Norbert G. Erles, Germanischer Lloyd, Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Joachim Hahne, Sievershagen

Dr.-Ing. Karl-Heinz Hochhaus, TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Elektrische
Energietechnik und Automation

Dipl.-Ing. Peter Kehm, Ingenieurbüro Nord, Flensburg

Prof. Dr.-Ing. Stefan Krüger, TU Hamburg-Harburg, Institut für Entwerfen von Schiffen
und Schiffssicherheit

Uni. Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Eike Lehmann, TU Hamburg-Harburg, Institut für
Konstruktion und Festigkeit von Schiffen

Prof. Dr.-Ing. Peter Ludwig, Warnemünde

Prof. Dr.-Ing. Hansheinrich Meier-Peter, Glücksburg

Dr.-Ing. Wolfgang Planitz, ABB Automation Systems GmbH, Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Michael Rachow, Fachbereich Seefahrt Warnemünde, Hochschule Wismar

Dr.-Ing. Dr. sc. techn. Hartmut Sauer, Rabenau

Dr.-Ing. Christian Scharfetter, Noske Kaeser GmbH, Hamburg

Dipl.-Ing. Holger Steinbock, See-Berufsgenossenschaft, Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Holger Watter, Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Hamburg

Dr.-Ing. Yves Wild, Dr.-Ing. Yves Wild Ingenieurbüro GmbH, Hamburg

Seehafen Verlag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	15
1 Elemente	17
1.1 Schiffsdieselmotoren	22
1.1.1 Arbeitsweise des Dieselmotors	22
1.1.2 Thermodynamische Grundlagen	26
1.1.3 Aufbau des Dieselmotors	39
1.1.4 Ladungswechsel	75
1.1.5 Gemischbildungsverfahren und –systeme bei Dieselmotoren	82
1.1.6 Gemischbildung, Zündung und Verbrennung	104
1.1.7 Emissionen	113
1.1.8 Aufladung von Schiffsmotoren	126
1.1.9 Regel- und Steuereinrichtungen	150
1.1.10 Betrieb	157
1.1.11 Betriebsüberwachung	166
1.1.12 Wartung und Instandhaltung	173
1.2 Dampferzeuger	179
1.2.1 Wirkprinzip des Dampferzeugers	179
1.2.2 Thermodynamische Grundlagen	182
1.2.3 Regel-, Sicherheits- und Warneinrichtungen der Dampferzeuger	192
1.2.4 Dampferzeugerbetrieb	196
1.2.5 Typische Störungen und Schäden	199
1.3 Turbinen	201
1.3.1 Energieumwandlung in der Turbinenstufe	201
1.3.2 Dampfturbinenanlagen	207
1.3.3 Regel- und Sicherheitseinrichtungen der Dampfturbine	216
1.3.4 Betrieb der Dampfturbinenanlage	220
1.4 Turboverdichter und Ventilatoren	226
1.4.1 Energieumwandlung in der Verdichterstufe	226
1.4.2 Verdichteranlage	230
1.4.3 Ventilatoren	235
1.4.4 Betrieb von Turboverdichtern und Ventilatoren	236

1.5	Gasturbinen und Abgasturbolader	240
1.5.1	Gasturbinenprozess	240
1.5.2	Bauarten und Anwendungen der Gasturbinenanlagen	242
1.5.3	Komponenten der Gasturbinenanlage.....	248
1.5.4	Betrieb der Gasturbinenanlage.....	253
1.6	Propeller.....	260
1.6.1	Energieumwandlung durch Propeller	260
1.6.2	Bauarten und Bauteile	269
1.6.3	Betrieb.....	277
1.7	Getriebe.....	288
1.7.1	Aufgabe von Getrieben	288
1.7.2	Getriebebauarten und Bauteile.....	279
1.7.3	Betrieb.....	304
1.8	Kupplungen.....	311
1.8.1	Aufgaben von Kupplungen.....	311
1.8.2	Bauarten und Bauteile	312
1.8.3	Betrieb.....	326
1.9	Pumpen.....	329
1.9.1	Einteilung der Pumpen.....	329
1.9.2	Bauarten.....	329
1.9.3	Betriebsverhalten	334
1.9.4	Betrieb und Wartung.....	338
1.10	Verdichter	343
1.10.1	Grundlagen.....	343
1.10.2	Bauliche Einzelheiten	346
1.10.3	Betriebspunkt, Regelung.....	349
1.10.4	Betrieb und Wartung.....	350
1.11	Wärmeübertrager.....	355
1.11.1	Grundlegende Betrachtung von Wärmeübertragern	355
1.11.2	Bauformen von Wärmeübertragern	356
1.11.3	Regelung	360
1.11.4	Typische Störungen und Schäden.....	360

1.12	Filter	362
1.12.1	Arbeitsweise von Filtern	362
1.12.2	Bauformen von Filtern	364
1.12.3	Betrieb und Wartung von Filtern	366
1.12.4	Störungen und Schäden	368
1.13	Separatoren	371
1.13.1	Aufbau von Separatorenanlagen	371
1.13.2	Aufbau von Separatoren	373
1.13.3	Steuer- und Überwachungseinrichtungen	377
1.13.4	Betrieb von Separatoren	378
1.14	Abscheider	380
1.14.1	Arbeitsweise	380
1.14.2	Bauformen	381
1.14.3	Betrieb und Wartung	385
1.14.4	Störungen	385
1.15	Rohrleitungen	386
1.15.1	Auslegung	386
1.15.2	Betrieb	392
1.15.3	Rohrleitungselemente	396
1.16	Betriebsstoffe	405
1.16.1	Kraft- und Brennstoffe	412
1.16.2	Schmierstoffe	423
1.16.3	Wärmeträgeröle	443
1.16.4	Kältemittel	446
1.16.5	Trinkwasser	453
1.16.6	Wasser im Dampfkesselbetrieb	458
1.16.7	Motorenkühlwasser	464
1.16.8	Akkumulatorenflüssigkeit	467
1.16.9	Ballastwasser	473
1.16.10	Inertgas	475
2	Antriebstechnik	481
2.1	Vortriebsanlagen	481

2.1.1	Aufgaben.....	481
2.1.2	Bauarten und Baugruppen.....	481
2.1.3	Betrieb.....	511
2.2	Antriebsanlagen.....	567
2.2.1	Aufgaben.....	567
2.2.2	Anwendungsbeispiele.....	567
3	Elektrotechnik, elektrische Energieerzeugung und -verteilung	581
3.1	Grundlegende Gesetze, Wechselstrom, Drehstrom.....	581
3.1.1	Größen der Elektrotechnik, Konventionen	581
3.1.2	Elektrischer Widerstand	582
3.1.3	Elektrisches Feld, Kondensator.....	584
3.1.4	Magnetisches Feld, Induktion, Induktivität	586
3.1.5	Wechselstrom.....	589
3.1.6	Drehstrom.....	592
3.1.7	Nennspannung und Spannungsqualität in Bordnetzen.....	596
3.1.8	Stromverdrängung, Wirbelströme	597
3.2	Verbraucher	598
3.2.1	Schutzarten	598
3.2.2	Asynchronmotoren	600
3.3	Transformatoren.....	607
3.4	Energieerzeugung und -verteilung.....	612
3.4.1	Allgemeiner Aufbau	612
3.4.2	Synchrongeneratoren.....	614
3.4.3	Wellengeneratoren.....	623
3.4.4	Netzformen, Netzschutz, Schalter, Kabel	626
3.4.5	Generator- und Netzschutz, Bordnetzautomation	633
3.5	Besonderheiten bei Mittelspannung.....	636
3.5.1	Gründe für den Einsatz von Mittelspannung	636
3.5.2	Kabel und Isolierstöße.....	637
3.5.3	Schaltgeräte	640
3.5.4	Motoren und Transformatoren.....	641
3.5.5	Netze und Netzformen.....	642
3.5.6	Sternpunkt-Behandlung.....	643
3.5.7	Kapazitive Lichtbögen.....	644

3.5.8	Schaltanlagen	644
3.5.9	Teilentladungen	646
3.5.10	Prüfungen von Mittelspannungs-Betriebsmitteln	648
3.6	Elektrische Fahranlagen	649
3.7	Gefährdungen, Sicherheit	653
3.7.1	Normen und Vorschriften	653
3.7.2	Belehrungen	654
3.7.3	Persönliche Schutzausrüstung	655
3.7.4	Prüfungen der Anlage	655
3.7.5	Schaltberechtigung	655
3.7.6	Sicherheitsregeln	657
3.7.7	Arbeiterlaubnis	658
4	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik	661
4.1	Messsensoren	661
4.1.1	Aufgaben, grundsätzlicher Aufbau	661
4.1.2	Temperaturmessung	662
4.1.3	Kraft- und Druckmessung	665
4.1.4	Füllstand, Tankinhalt	666
4.1.5	Durchflussmessung	668
4.1.6	Messung elektrischer Größen	670
4.2	Regelungstechnik	672
4.2.1	Aufbau eines Regelkreises, Übertragungsfunktion, Bode-Diagramm	672
4.2.2	Stabilität und dynamisches Verhalten	677
4.2.3	Einstellung von PID-Reglern	680
4.2.4	Maßnahmen zur Verbesserung des Regelverhaltens	682
4.3	Steuerungstechnik	684
4.3.1	Logische Funktionen und Abläufe	684
4.3.2	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	688
4.3.3	Regelungen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen	692
4.4	Dezentrale Automation, Bussystem	694
4.4.1	Dezentrale Automation	694
4.4.2	Prinzipieller Aufbau eines Bussystems	696
4.4.3	Physikalische Ebene, Bitübertragungsschicht	697

4.4.4	Verbindungsebene, Sicherungsschicht.....	698
4.4.5	Zeitverhalten	700
4.4.6	Technischer Aufbau, Busabschluss.....	701
4.4.7	Lichtwellenleiter	702
5	Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen	705
5.1	Trinkwassersysteme auf Schiffen	705
5.1.1	Einführung	705
5.1.2	Frischwassererzeugung	706
5.1.3	Trinkwassersysteme.....	712
5.1.4	Trinkwasseraufbereitung	714
5.1.5	Nachbehandlung von Destillat.....	717
5.1.6	Nachbehandlung von Permeat.....	717
5.1.7	Bordmessungen	718
5.2	Abgassystem	721
5.3	Umwelt	725
5.3.1	Einführung	725
5.3.2	Stickoxide, CO2 und Schwefeldioxid im Abgas.....	727
5.3.3	Bilgewasser und Ölschlamm.....	729
5.3.4	Abwasser	730
5.3.5	Müll.....	733
5.3.6	Antifouling-Anstrich, FCKW/Halon-Verordnung	734
5.3.7	Ballastwasser.....	734
5.3.8	Zusammenfassung und Ausblick	735
5.4	Schmierölsysteme	737
5.4.1	Umlaufschmierölsysteme für Motoren	737
5.4.2	Stevenrohr und Propellerwelle.....	740
5.5	Kühlwassersysteme.....	743
5.6	Kraftstoffsystem	751
5.6.1	Bedarf und Lagerung.....	751
5.6.2	Kraftstoffaufbereitung.....	753
5.7	Hydrauliksysteme	758

5.8	Ballastsystem	761
5.8.1	Aufgaben.....	761
5.8.2	Begriffe und Bezeichnungen.....	761
5.8.3	Ausgeführte Anlagen.....	761
5.8.4	Vorschriften.....	763
5.9	Lenzsysteme	766
5.9.1	Aufgabe.....	766
5.10	Dampf- und Kondensatsystem	768
5.10.1	Grundlegende Betrachtung von Dampf- und Kondensatsystemen.....	768
5.10.2	Dampf- und Kondensatsysteme für Turbinenanlagen.....	771
5.10.3	Dampf- und Kondensatsysteme für Vorwärm- und Heizungsanlagen.....	774
5.11	Thermalöl	780
5.11.1	Auslegung und Aufbau von Thermalölanlagen.....	780
5.11.2	Betrieb von Thermalölanlagen.....	782
5.12	Druckluftsysteme	786
6	Kälte – Klima – Lüftung	789
6.1	Einführung	789
6.2	Schiffsbe- und -entlüftungsanlagen	790
6.2.1	Maschinenraumlüftung.....	791
6.2.2	Vorschriften.....	792
6.2.3	Ausgeführte Systeme.....	794
6.2.4	Laderaumlüftung.....	797
6.2.5	Stückgutschiffe.....	797
6.2.6	Frucht- und Kühlschiffe.....	798
6.2.7	Container- und Kühlcontainerschiffe.....	798
6.2.8	RoRo-Schiffe, Autotransporter.....	799
6.2.9	Lüfter (Gebläse, Ventilatoren).....	799
6.2.10	Lüfterauslegung, Lüfterauswahl.....	801
6.2.11	Wartung, Prüfung und Optimierung im Schiffsbetrieb.....	802
6.3	Schiffskälteanlagen	805
6.3.1	Kälteanlagentypen.....	805

6.3.2	Kompressionskälteanlagen	805
6.3.3	Absorptionskälteanlagen.....	806
6.4	Schiffsklimaanlagen.....	808
6.4.1	Vorschriften und Auslegungskriterien.....	808
6.4.2	Klimaanlagen auf Handelsschiffen	811
6.4.3	Klimaanlagen auf Passagier- und Fährschiffen.....	812
6.5	Proviantkühlanlagen	815
6.6	Kühlcontainer	818
6.6.1	Aufbau und Funktion Kühlcontainer	818
6.6.2	Luftführung im Kühlcontainer	818
6.6.3	Kältekreislauf	819
6.6.4	Betriebsmodi	821
6.6.5	Stromversorgung / Stromverbrauch	824
6.6.6	Umgebungsbedingungen.....	825
6.6.7	Wärmeabfuhr.....	826
6.6.8	Atmosphäre im Container	827
6.6.9	Wartung.....	828
6.6.10	Temperaturanstieg ohne Kühlung.....	829
7	Umschlageinrichtungen	833
8	Manöviereinrichtungen	853
8.1	Begriffe, Bezeichnungen, Abkürzungen	853
8.2	Kennwerte zur Beurteilung des Manövierverhaltens von Schiffen	855
8.3	Manöviereinrichtungen.....	859
8.4	Betrieb von Manöviereinrichtungen	869
9	Schiffbau.....	873
9.1	Hauptabmessungen, Bezeichnungen und Begriffe	873
9.1.1	Hauptabmessungen	873
9.1.2	Bezeichnungen und Begriffe	874

9.2	Schiffstypen	876
9.3	Schiffshydrodynamik	886
9.3.1	Widerstand und Schleppversuch	886
9.3.2	Propulsion	889
9.4	Stabilität und Trimm	895
9.4.1	Anfangsstabilität	895
9.4.2	Stabilität bei großen Neigungen	899
9.4.3	Stabilität bei Grundberührungen.....	903
9.4.4	Stabilität beim Docken	904
9.4.5	Stabilitätskritische Schiffe.....	905
9.5	Konstruktion der Schiffe	906
9.5.1	Allgemeines	906
9.5.2	Schiffstypenbezogene konstruktive Besonderheiten.....	911
9.5.3	Schäden	913
9.6	Festigkeit der Schiffe	917
9.6.1	Festigkeit des Schiffskörpers.....	918
9.6.2	Festigkeit einzelner Baugruppen	931
9.6.3	Festigkeit einzelner Konstruktionsdetails	933
9.6.4	Schwingungen der Schiffsstruktur.....	935
9.6.5	Betriebsfestigkeit	940
9.7	Schiffsbewegungen	942
9.7.1	Schiffsbewegungen im Seegang (Tauchen, Stampfen, Rollen).....	943
9.7.2	Stabilitätsverhalten im Seegang	951
9.8	Vermessung	954
10	Feuerlösch-, Sicherheits-, Rettungs-Einrichtungen	957
10.1	Einführung	957
10.1.1	Grundlagen des Schiffssicherungsdienstes	957
10.1.2	Anforderungen an die Schiffssicherheitstechnik.....	958

10.2	Sicherheitstechnische Systeme Brandschutz	959
10.2.1	Systematik des Brandschutzes.....	959
10.2.2	Brandmeldeanlagen.....	961
10.2.3	Feuerlöschmethoden und -mittel.....	965
10.2.4	Feuerlöschanlagen.....	969
10.2.5	Organisation der Brandabwehr.....	975
10.3	Rettungssysteme	976
10.3.1	Das Rettungsmittelsystem (RMS).....	976
10.3.2	Kollektive Rettungsmittel.....	977
10.3.3	Persönliche Rettungsmittel.....	985
10.3.4	Rettungsgeräte.....	985
10.3.5	Handhabung von Rettungsmitteln.....	987
10.4	Schutz gegen Wassereintrich	988
10.4.1	Ursache-Wirkungskette bei Wassereintrich.....	988
10.4.2	Sicherheitstechnik gegen Wassereintrich.....	989
10.4.3	Anzeige- und Alarmanlagen.....	989
10.4.4	Schottenschließanlage.....	990
10.4.5	Organisation der Leckwehr.....	990
11	Instandhaltung	993
11.1	Einführung	993
11.1.1	Allgemeine Bedeutung der Instandhaltung.....	993
11.1.2	Bedeutung der Instandhaltung für die Seeschifffahrt.....	994
11.2	Grundlagen der Instandhaltung	995
11.2.1	Theoretische Grundlagen.....	995
11.2.2	Maßnahmen der Instandhaltung.....	1003
11.2.3	Instandhaltungsstrategien.....	1008
11.3	Organisation der Instandhaltung im Schiffsbetrieb	1011
11.3.1	Vorschriften.....	1011
11.3.2	Struktur.....	1011
11.3.3	Planung.....	1011
11.3.4	Durchführung.....	1012
11.3.5	Verbesserungsmöglichkeiten.....	1013

11.4	Bordinstandhaltung und Personalqualifikation	1021
11.5	Bordinstandhaltung und Wirtschaftlichkeit	1022
12	Schäden.....	1025
12.1	Bedeutungen der Schadensanalyse.....	1025
12.2	Begriffsbestimmungen und -definitionen	1025
12.2.1	Schaden	1025
12.2.2	Schadensadressen	1026
12.2.3	Schadensbild.....	1027
12.2.4	Schadensursachen	1029
12.2.5	Lokale Auswirkungen (auf Schiff bezogen)	1030
12.2.6	Globale Auswirkungen (andere Verkehrsteilnehmer, Umwelt)	1030
12.2.7	Technische Maßnahmen	1031
12.2.8	Anlass der Schadensfeststellung.....	1031
12.2.9	Schadensmechanismen.....	1031
12.3	Auswertungsroutinen	1032
12.3.1	Grundzüge und Verfahren	1032
12.3.2	Schiffsbezogene Auswertung.....	1033
12.3.3	Reedereibezogene Auswertung	1034
12.4	Schadensvermeidung.....	1034
12.4.1	Schiffsbezogene Maßnahmen.....	1034
12.4.2	Reedereibezogene Maßnahmen.....	1035
12.5	Verhalten im Schadensfall.....	1035
13	Vorschriften	1037
13.1	Internationale Vorschriften	1037
13.1.1	Internationale Konventionen (Übereinkommen).....	1037
13.1.2	Internationale Standards, Normen.....	1039
13.1.3	Europäische Standards, Normen	1040
13.1.4	Klassifikations- und Bauvorschriften (hier: Germanischer Lloyd)	1040
13.2	Nationale Vorschriften (Deutschland)	1041
13.2.1	Nationale Behörden, nationale Verordnungen.....	1041

Inhaltsverzeichnis

13.2.2	Nationale Ingenieurverbände.....	1042
13.2.3	Nationale Merk- und Prüfblätter	1043
14	Umrechnungsfaktoren	1045
14.1	Vorbemerkungen.....	1045
14.2	Umrechnungskonstanten	1046
14.3	Stoffdaten	1049
	Autoren-Vitae.....	1053
	Stichwortverzeichnis	1059
	Inserentenverzeichnis	1078

Vorwort

Die beiden früheren Standardwerke der Schiffsbetriebstechnik „Schiffsmaschinenbetrieb“ (Verlag Technik Berlin), Herausgeber Moeck, Strickert und Begemann sowie das „Handbuch der Schiffsbetriebstechnik“ (Verlag Friedr. Vieweg & Sohn), Herausgeber Illies, sind nicht mehr auf dem neuesten Stand der Technik und auch im Handel vergriffen.

Die 21 Autoren dieses Buches, jeder ein Experte mit jahrzehntelanger praktischer Erfahrung auf schiffstechnischen Fachgebieten, haben sich zum Ziel gesetzt, ein Handbuch zu erarbeiten, das dem Schiffsoffizier Informationen über technische Fragen auf allen Gebieten der Schiffsbetriebstechnik anbietet und so die Tradition der beiden früheren Handbücher fortsetzt.

Das neue Standardwerk beschreibt auf breiter Basis bewährte technische Lösungen, zeigt aber vor allem die zahlreichen technologischen Veränderungen auf, die sich in der Schifffahrt in der jüngeren Vergangenheit vollzogen haben und die sich beständig weiterentwickeln. Bei Störungen und Unregelmäßigkeiten bietet es Hilfe und Vorschläge für systematische Fehlersuche und Abhilfemaßnahmen.

Das Buch wendet sich in erster Linie an die technischen Schiffsoffiziere an Bord und in den Reedereiinspektionen. Es enthält darüber hinaus so viele konzentrierte Detailinformationen, dass es auch für alle anderen Bereiche der maritimen Verbundwirtschaft ein wertvolles Standardwerk sein wird.

Herausgeber und Verlag haben sich entschlossen, die Form und Darstellungsweisen der einzelnen Kapitel nicht bis ins Letzte zu vereinheitlichen. Es erschien uns sinnvoll, die sehr verschiedenen Themenkomplexe weitgehend in der jeweils von den Autoren gewählten Form wiederzugeben.

Autoren und Herausgeber danken dem Seehafen Verlag für die tatkräftige Unterstützung bei der Realisierung des Projekts „Handbuch Schiffsbetriebstechnik“ und für die Bereitschaft, das Buch zu verlegen. Autoren und Verlag haben sich dabei das sehr ehrgeizige Ziel gesetzt, dieses Buch innerhalb von knapp zwei Jahren zu erarbeiten. Dieses Ziel wurde durch Fleiß und Ausdauer sowie großen persönlichen Einsatz erreicht.

Die Herausgeber danken besonders dem Lektorat, dem Produktmanagement und der Geschäftsleitung, die die verlegerischen Voraussetzungen für die Realisierung des Buches schuf.

Den Autoren danken sie für die gute Zusammenarbeit, die unter dem hohen Zeitdruck unerlässlich war.

Dem Verlag Friedr. Vieweg & Sohn danken die Herausgeber für die Rückübertragung der Namensrechte, so dass der sehr treffende Titel „Handbuch Schiffsbetriebstechnik“ auch für das neue Standardwerk verwendet werden kann.

Glücksburg, im Oktober 2006

Warnemünde, im Oktober 2006

Hansheinrich Meier-Peter

Frank Bernhardt

Im Schiffsbetrieb ist das Vorkammerverfahren nur noch bei einigen wenigen großen Schnellläufern oder bei älteren Hilfsdieseln zu finden.

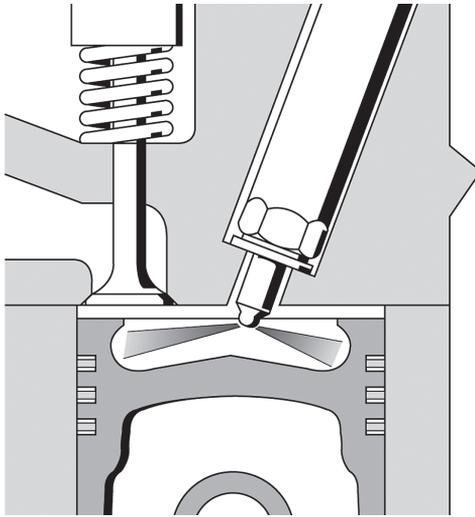


Bild 1.1.67: Direkteinspritzung [1.1.5.1]

dass sich ein symmetrisches Spritzbild ergibt. Zweitaktmotoren besitzen zwei oder drei Einspritzdüsen am Brennraumrand, da die Mitte des Zylinderdeckels durch das Auslassventil besetzt ist.

Einspritzsysteme

Zum Einspritzsystem gehören ein Druckerzeuger, eventuell ein Druckspeicher, eine Hochdruckleitung und ein Einspritzventil sowie die zugehörigen Regelorgane. Einzelne dieser Komponenten können auch, je nach Konstruktion des Einspritzsystems, in anderen Komponenten aufgehen.

Die Aufgaben des Einspritzsystems sind:

- Hochdruckerzeugung und Brennstoffförderung
- Zeitliche Steuerung der Einspritzung
- Regelung der Einspritzmenge
- Gleichzumessung zu den einzelnen Zylindern

Es kommen verschiedene Einspritzsysteme zum Einsatz, die ständig weiterentwickelt werden. Bei allen Systemen erfolgt die Hochdruckerzeugung mittels einer Kolbenpumpe. Sie lassen sich nach der Art der Hochdruckerzeugung unterteilen in

- Systeme für einspritzsynchrone, diskontinuierliche Druckerzeugung für den einzelnen Zylinder
 - Einzelpumpen
 - Pumpe-Düse-System
 - Reihen(Block)pumpen
- Systeme für einspritzunabhängige, kontinuierliche Druckerzeugung und Förderung in einen Druckspeicher, Druckerzeugung ist unabhängig von Einspritzbeginn und Einspritzmengenregelung
 - Common Rail-Systeme

Elektronische Drehzahlregler und Steuergeräte

Elektronische Drehzahlregler (Bild 1.1.117) erfassen die aktuelle Motordrehzahl nicht über ein mechanisches Messwerk, sondern über einen elektrischen Geber, der z.B. induktiv oder über Hall-Effekt eine Schlitzscheibe, oder falls vorhanden, eine Verzahnung auf der Schwungscheibe abtastet. Die gemessene Frequenz wird in eine elektrische Größe umgewandelt und mit einem entsprechenden Sollwert verglichen, der auch als elektrische Größe dem Regler zugeführt wird. Je nach Ergebnis des Vergleichs wird in der Endstufe des Kontrollgerätes ein Stromsignal generiert, das dem Aktuator zugeführt wird, der dem Signal entsprechend über einen Motor oder einen Linearmagneten die Füllungseinstellung am Dieselmotor vornimmt. Ein Rückführsignal für die Aktuatorausgangsgröße vervollständigt den Regelkreis.

Ein Elektronikregler kann ebenfalls PID-Verhalten aufweisen. Ist er als Analogregler ausgeführt, sind Zusatzfunktionen wie Startmengeneinstellung, Drehzahlbegrenzung, drehzahlabhängige Füllungsbegrenzung oder temperaturabhängige Drehzahl- oder Füllungseinstellung durch Applizieren von Zusatzgeräten zur Werterfassung und -umwandlung möglich. Mit Hilfe eines Störgrößenaufschaltgerätes lässt sich im Generatoreinsatz die Reaktionsgeschwindigkeit steigern, indem der Generatorstrom als Regelgröße verwendet wird.

Vorteil der analogen Elektronikregler ist ihre einfache Einstellung, da die Justierung meistens nur über Potentiometer erfolgt.

Digitale Elektronikregler sind wesentlich flexibler. Kern dieser Geräte ist ein Mikrocontroller, dessen Programm neben der Drehzahlregelung auch die Erfassung, Auswertung, Überwa-

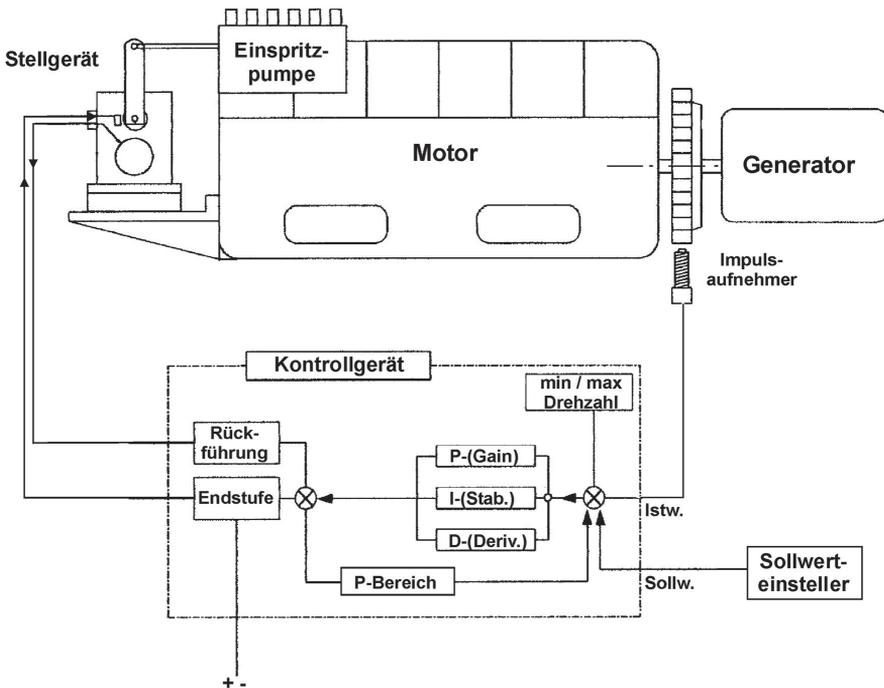


Bild 1.1.117: Blockschaltbild des Regelkreises eines analogen Elektronikreglers

Bild 1.5.7 zeigt die Ansicht der aus den militärischen und zivilen Mantelstromtriebwerken TF 39 und CF-6 abgeleitete Schiffs-GTA LM 2500 von General Electric. Einen Schnitt zeigt der untere Teil im Bild 1.5.8. Sie wird weltweit in 29 Kriegsmarinen, in Kreuzfahrtschiffen und in schnellen Fähren eingesetzt. Der 16-stufige Verdichter hat ein Druckverhältnis $\pi = 17,9$ und wird durch eine 2-stufige Turbine angetrieben. Die Stufen 1 bis 6 des Verdichters sind mit im Betrieb verstellbaren Leitschaufeln zur Anpassung an Betriebszustände bei Teillast ausgerüstet. Die Leit- und Laufschaufeln der Turbine sind mit Konvektions- und Filmkühlung ausgeführt.

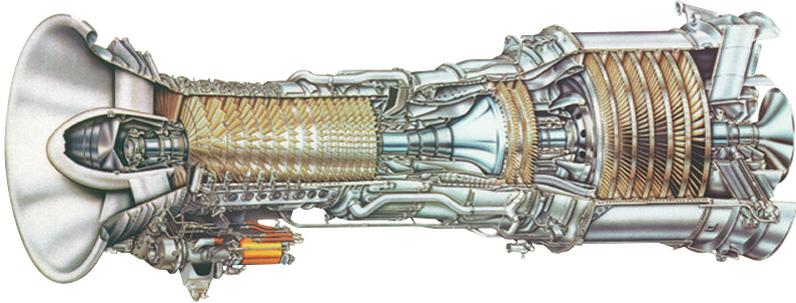


Bild 1.5.7: Maritime Gasturbinenanlage LM 2500 von General Electric [1.5.18]

Bei einer Umgebungstemperatur von 15°C leistet die 6-stufige Nutzleistungsturbine 22,2 MW bei 3600 min^{-1} . Dabei beträgt die Temperatur nach Nutzturbine 555°C und die Abgastemperatur nach der Zumischung der Kühlluft 495°C . Der spezifische Luftverbrauch liegt bei 13 kg/kWh . Brennstoff ist DMA nach ISO 8217 bzw. MGO. Die LM 2500 erreicht bei ISO-Bedingungen einen spezifischen Brennstoffverbrauch von $0,230\text{ kg/kWh}$ bei $H_U = 42,8\text{ MJ/kg}$ bzw. einen thermischen Wirkungsgrad von $36,6\%$. Diese Werte gelten für Turbineneintrittstemperaturen, die ein HSRI (Hot Section Repair Intervall) von 8000 h erfordern. Der Schmierölverbrauch liegt im Mittel bei $0,1\text{ l/h}$, das entspricht einem spezifischen Verbrauch bei Vollast von $0,004\text{ g/kWh}$ [1.5.18].

Bei Einspritzung von aufbereitetem Frischwasser, z. B. zur NO_x -Reduktion, sind durch die Vergrößerung des Massenstromes Leistungssteigerungen bis ca. 2 MW möglich. Bei Einspritzung von Dampf kann die Leistung um ca. 6 MW steigen.

Die Anlage LM 2500 ist an drei Punkten aufgehängt, die ihrerseits auf einer Grundplatte abgestützt sind. Diese ruht auf elastischen Stützgliedern, damit Schwingungen und harte Stöße (z. B. Unterwasserexplosionen) abgefangen werden. Auch die Verbindungen der begehbaren Einhausung mit den Schächten für Ansaugluft und Abgas sind elastisch ausgeführt.

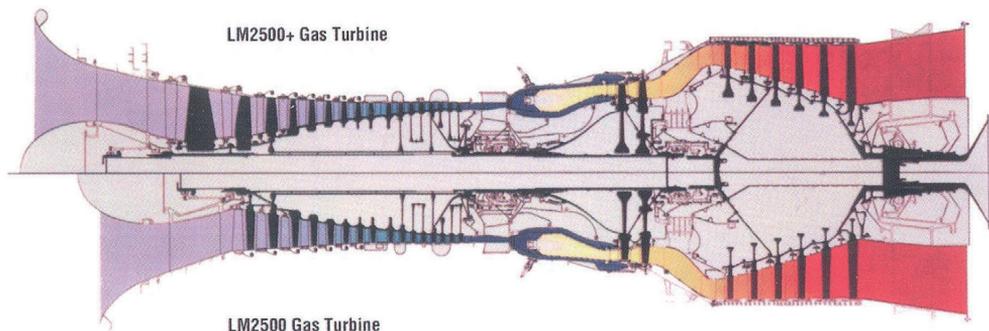


Bild 1.5.8: Schnittdarstellung der LM2500 und LM2500+ im Vergleich [1.5.18]

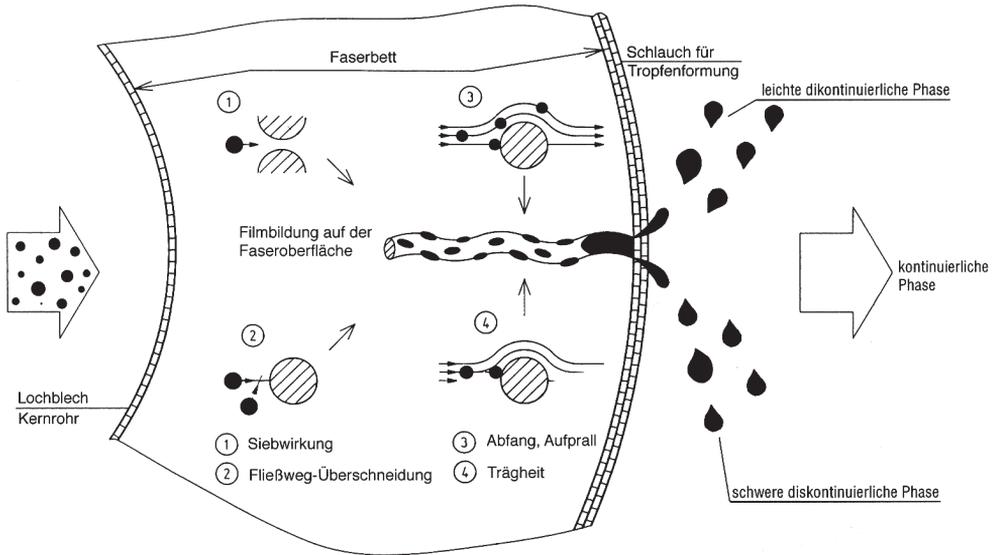


Bild 1.14.4: Ölabscheidung an einem Fasermaterial eines Bilgenwasserentölers (Quelle: NFV Norddeutsche Filter Vertriebs GmbH)

Ölabscheider

Ölabscheider gehören zu den Flüssigkeitsabscheidern. Im Schiffsbetrieb werden Ölabscheider zum Abtrennen von Öl aus Kältemitteldampf und aus Prozessluft, wie Ladeluft, Steuerluft oder Anlassluft, verwendet. Die Prozessluft enthält in der Regel neben dem Öl auch Wasser, so dass hier eine gemeinsame Abscheidung der Flüssigkeiten erfolgt. Ölabscheider in Kälteanlagen haben in der Regel die Aufgabe, nur Kältemaschinenöl und kein Wasser abzuscheiden.

Ölabscheider in Kälteanlagen befinden sich in der Druckleitung zwischen Verdichter und Verflüssiger. Für kleine Ölmengen werden Oberflächenabscheider verwendet. Das Öl wird beim Aufprallen auf Hindernisse zurückgehalten. Kleine Öltropfen schließen sich zu großen Tropfen zusammen und werden durch Schwerkraft nach unten abgeführt. Durch eine nach unten gerichtete Gasströmung wird die Abscheidung durch Schwerkraft unterstützt. Das sich am Boden sammelnde Öl wird über Schwimmerventile abgeleitet. Da der Druck im Abscheider größer ist als der Druck auf der Saugseite oder im Kurbelraum des Verdichters, strömt das Öl selbstständig zum Verdichter, anderenfalls werden Ölpumpen verwendet. Bei großen Ölmengen kommen Zyklonabscheider zum Einsatz.

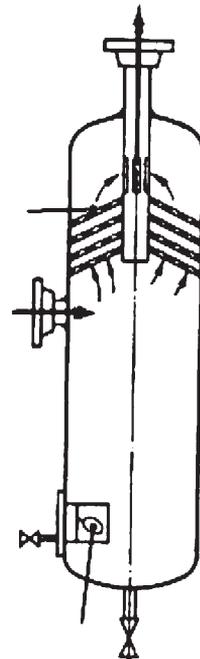


Bild 1.14.5: Ölabscheider als Oberflächenabscheider

Stevenrohrlager

Die Propellerwelle wird im Stevenrohr in Gleit- oder Wälzlagern gelagert. Bild 2.1.6 zeigt die unterschiedlichen Lösungen, die für diese Aufgabe entwickelt wurden. Als Lagerwerkstoffe kommen Kunststoff, Spezialgummi, (heute nur noch selten) Pockholz sowie metallische und nichtmetallische Werkstoffe infrage. Für Wälzlager, Weißmetalllager und einige Kunststofflager ist Ölschmierung (evtl. auch Fettschmierung) erforderlich, während Pockholz-, Kunststoff- und Gummilager mit Wasserschmierung arbeiten.

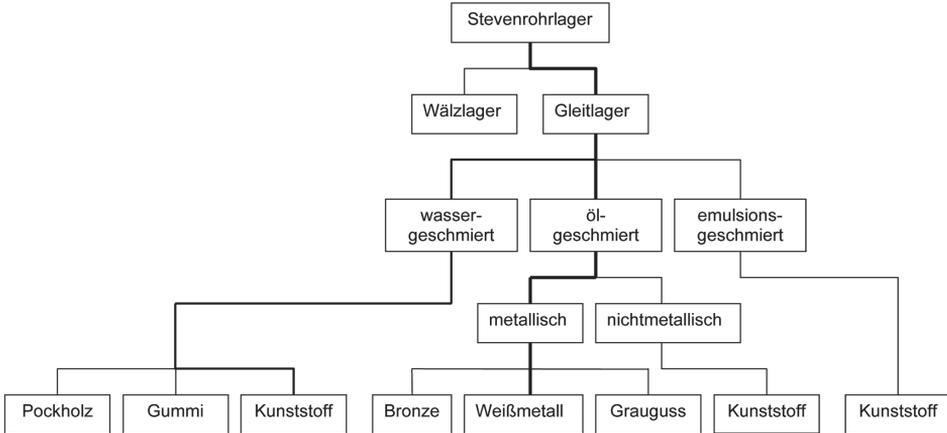


Bild 2.1.6: Übersicht über die verschiedenen Arten der Stevenrohrlagerung. Einen Schwerpunkt bilden ölgeschmierte Weißmetallgleitlager und wassergeschmierte Kunststofflager

Seewassergeschmierte Stevenrohrlager

Nachdem die Anzahl der Schiffe mit wassergeschmierten Stevenrohrlagern jahrelang wegen höherer Verschleißraten und Problemen mit dem Bronzebezug bzw. der Ummantelung der im

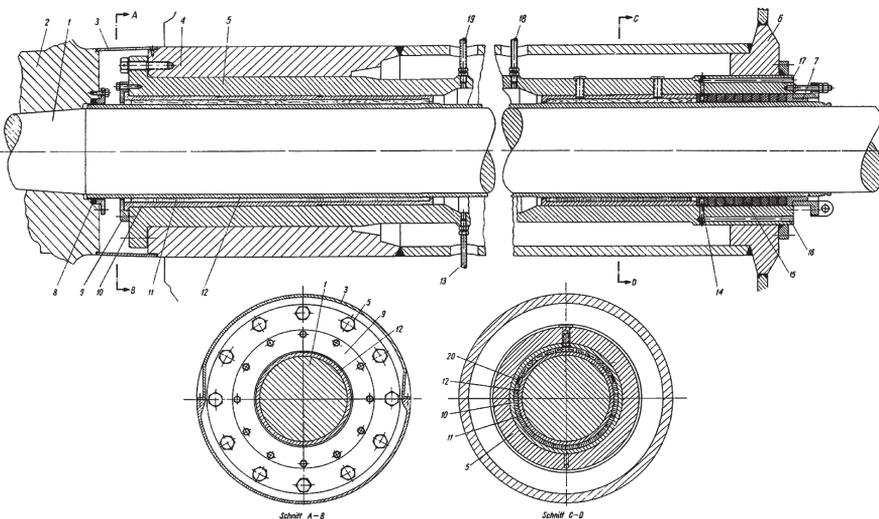


Bild 2.1.7: Schnittdarstellung einer Stevenrohrlagerung auf Pockholz. Lagerung in Kunststofflagern sinngemäß

Beobachtung am 20-Ltr- Hochtank	Welle steht		Welle dreht	
	Ursache	Maßnahme	Ursache	Maßnahme
Level fällt stetig *)	Leckage im System	Leckstellen abdichten Tankanordnung prüfen.	Dichtung verschlissen Dichtring läuft unrund.	Dichtring erneuern Lagerspiel prüfen Dichtung oder Laufbuchse evtl. neu ausrichten
Level steigt stetig	Öl fließt durch den Überlauf**) Evtl. Dichtring 3 verschlissen oder beschädigt. Rohrverschra- bung zum 20-Ltr-Hochtank im Stevenrohr undicht.	Absperrventil in Zulaufleitung zum 20-Ltr- Hochtank schließen.	Dichtring 3 verformt oder hart geworden. Stevenrohrlager ausgelaufen oder Dichtungs- gehäuse bzw. Laufbuchse schlecht ausgerichtet.	Absperrventil in Zulaufleitung zum 20-Ltr- Hochtank schließen. Spiel Stevenrohrlager prüfen. Ausrichtung von Dichtung und Laufbuchse prüfen.
Wasser im 20-Ltr- Hochtank +)	Dichtring 1+2 verschlissen oder schadhaft durch Fremdkörper Dichtungsge- häuse undicht.	Absperrventil in Zulaufleitung schließen. Prüfen, ob Wasser in Stevenrohr eindringt. Wassergehalt öfter prüfen. Evtl. 20-Ltr- Tank vorüber- gehend höher setzen.	Dichtring 1 + 2 verformt, ver- härtet oder anderweitig beschädigt.	Absperrventil in Zulaufleitung schließen. Prüfen, ob Wasser in Stevenrohr eindringt. Wassergehalt öfter prüfen. Evtl. 20-Ltr-Tank vorübergehend hö- her setzen. Ausrichtung von Dichtungsgehäuse und Laufbuchse prüfen und wenn nötig verbessern.

Tabelle 2.1.6: Hinweise zur Störungsursachenklärung im Simplex-Compact Stevenrohrabdichtungssystem (Quelle: TKMS / Blohm + Voss Industries GmbH)

*) Ein Ölverbrauch von bis zu 1% der Dichtungsgröße in Ltr/Tag ist kein Anzeichen für eine Störung an der Dichtung. Ist der Ölverbrauch stetig größer, kann ein Öl höherer Viskosität eingesetzt werden. Alternativ kann man das Absperrventil in der Zulaufleitung schließen und zweimal täglich für eine Stunde öffnen.

**) Leichte Öltropfen über dem Überlauf des 20-Ltr-Hochtanks sind kein Anzeichen für eine schadhafte Dichtung, solange die Menge pro Tag unter ca. 1% der Dichtungsgröße bleibt.

+) Kleine Wassermengen, die in die 20-Ltr-Hochtanks eindringen sind kein Anzeichen für eine schadhafte Dichtung, solange die Menge pro Tag unter ca. 1% der Dichtungsgröße bleibt.

Bei der Tunnelanlage (Bild 5.8.3) ist die Verbindungsleitung zwischen den beiden Seitentanks mit einem so großen Durchmesser ausgeführt, dass in dem Rohrtunnel In-Line-Pumpen installiert werden können. Bevorzugt werden Propellerpumpen verwendet, die an beiden Motorenden mit einem Festpropellerrad ausgestattet sind (Bild 5.8.4.a). Zur Richtungsänderung des Förderstromes muss die Drehrichtung des Motors geändert werden.

Zur Verringerung der Dauer für die Richtungsänderung des Förderstromes werden Propellerpumpen eingesetzt, die mit einem verstellbaren Propellerrad ausgestattet sind und bei denen der Motor seine Richtung beibehält (Bild 5.8.4.b).

Die Ventilatoranlagen sind ähnlich wie die Tunnelanlagen aufgebaut. Die beiden Seitentanks sind durch einen Tunnel mit großem Querschnitt miteinander verbunden. Durch einen Ventilator (Bild 5.8.5) wird Luft aus dem einen Tank abgesaugt und in den anderen Tank gefördert. Aufgrund der großen Oberfläche entstehen schon bei geringem Förderdruck des Gebläses oder Verdichters große Kräfte, die das Wasser in sehr kurzer Zeit durch die Verbindungsleitung in den anderen Tank drücken. Bei gleicher Drehrichtung des Gebläses oder des Verdichters wird die Richtung des Förderstromes durch ein einfaches Vier-Wege-Ventil geändert.

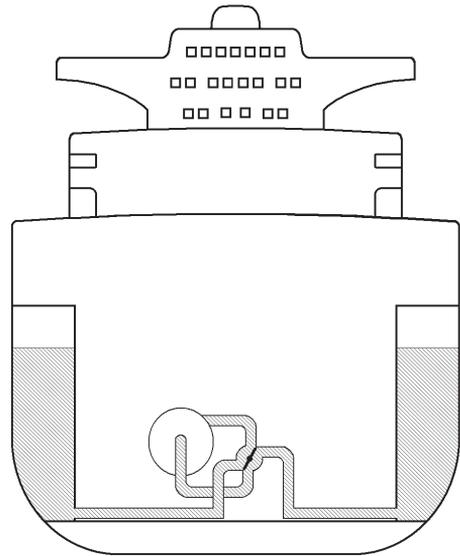
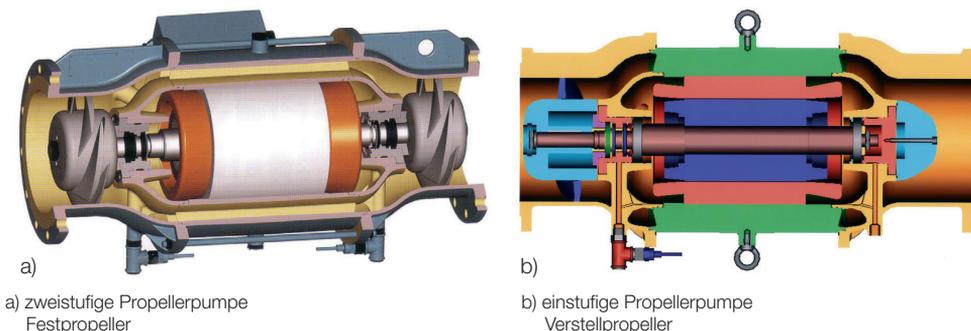


Bild 5.8.3: Krängungsausgleichsanlage mit Pumpe

5.8.4 Vorschriften

2004 wurde auf einer diplomatischen Konferenz die internationale Konvention der IMO zur Kontrolle und zum Management des Ballastwassers und den Ballastsedimenten angenommen. Sie findet Anwendung für alle Schiffe, die Ballastwasser mit sich führen.



a) zweistufige Propellerpumpe
Festpropeller

b) einstufige Propellerpumpe
Verstellpropeller

Bild 5.8.4: In-Line Propellerpumpen für Krängungsausgleichsanlagen

6.6 Kühlcontainer

6.6.1 Aufbau und Funktion Kühlcontainer

Der heute vorherrschende Typ des Kühlcontainers ist der Integral-Kühlcontainer. Er verfügt über ein eingebautes Kühlaggregat, welches an der Stirnseite in den Container eingeschraubt wird [3, 24]. Für den Betrieb solcher Container wird Drehstrom benötigt.

6.6.2 Luftführung im Kühlcontainer

Die Ware im Container wird von kalter Luft durch- bzw. umströmt, die durch die Grätting im Boden eingeblasen und unter der Containerdecke wieder abgesaugt wird. Die Umwälzlüfter drücken die Luft anschließend durch den Luftkühler, der gleichzeitig der Verdampfer des Kältekreises ist, und wieder durch die Grätting in die Ladung (siehe Bild 6.6.1).

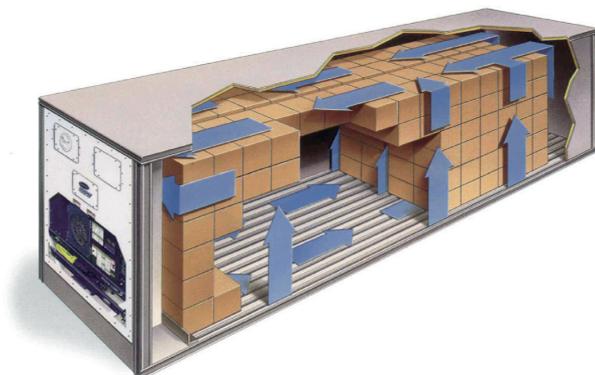


Bild 6.6.1: Luftführung in einem Integral-Kühlcontainer (Quelle: Carrier Transicold)

Bei vorgekühlter Tiefkühlware muss die Luft lediglich die Ware umströmen, da aus der Ware selber keine Wärme abgeführt werden muss. Lediglich die durch die Isolierung von außen eindringende Wärme muss abgeführt werden. Beim Fruchttransport wird die Ware dagegen von Luft durchströmt, da Früchte und Gemüse Reifungswärme erzeugen, die in ihrem Inneren entsteht und abgeführt werden muss. Um sicher zu stellen, dass Luft beim Tiefkühltransport die Ware umströmen kann, ohne jedoch einen Strömungskurzschluss beim Fruchttransport zu bewirken, sind die Container-Innenwände normalerweise mit Sicken versehen, so dass selbst dann, wenn die Ware direkt an die Wand gestapelt wird, noch Luft durch diese Kanäle strömt und von außen eindringende Wärme abführt.

Die heutigen Luftumwälzraten liegen ca. bei 30–40-fachem Luftwechsel für Tiefkühlfahrt und ca. 60–80-fachem Luftwechsel bei Fruchtfahrt. Der Differenzdruck am Umwälzlüfter (Druckunterschied zwischen Druck- und Saugseite) beträgt bei normaler Stauung ca. 12–25 mm WS, kann aber in Abhängigkeit von der Stauung, der Netzfrequenz und der Öffnung der Frischluftklappen auch andere Werte annehmen.

Die Stauung der Ware im Container muss so erfolgen, dass die Luftströmung nicht abgeschnitten wird, etwa durch zu hohe Stauung der Ware über die rote „Load-Limit-Line“ hinaus und es außerdem nicht zu Strömungskurzschlüssen kommt, etwa durch freien Raum vor der Tür (hier muss die Grätting ggf. durch geeignete Maßnahmen abgedeckt werden).

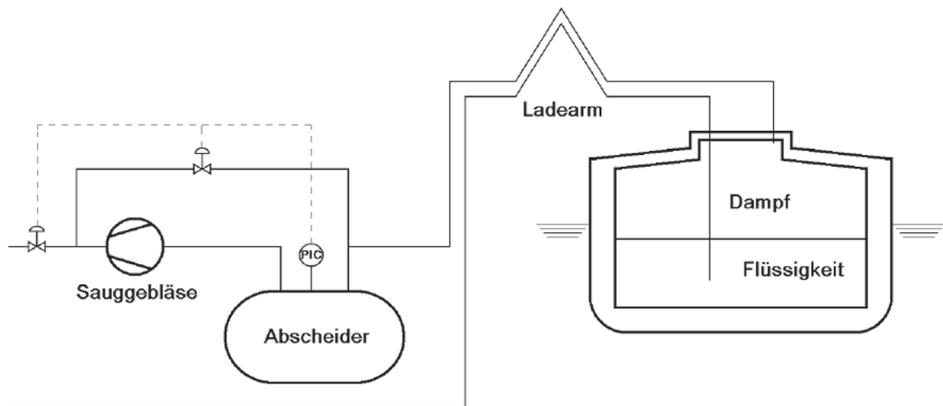


Bild 7.24: Gaswechsellanlagen

Gaswechsellanlagen

Je nach Art der Ladung werden die Ladetanks auf den Chemikalien- und Gastankern vor dem Beginn der Befüllung mit Inertgas gefüllt. Bei der Füllung des Tanks mischt sich das Inertgas mit den Dämpfen der Ladung. Dieses Gasgemisch darf jedoch nicht in die Atmosphäre abgeleitet werden und muss über eine Gaswechsellanlage (Bild 7.24) zurückgeleitet werden.

Das Gasgemisch wird durch ein Sauggebläse in der Verladestation aus den Ladetanks in einen Abscheider gefördert. Hier findet eine Trennung zwischen der Ladung und dem Inertgas statt. Die Dämpfe aus der Ladung werden durch das Gebläse weitergeleitet zu den Lagertanks. Hier werden die Dämpfe nachbehandelt (rückgekühlt) und wieder der Ladeleitung zugeführt.

Rückkühlung

Bei dem Transport verflüssigter Gase wird zwangsläufig stets eine bestimmte Menge Flüssiggas in die Dampfphase übergehen. Diese anfallende Gasmenge kann entweder als Brennstoff für die Kraftmaschinen an Bord Verwendung finden oder über eine an Bord installierte Rückverflüssigungsanlage verflüssigt und der Ladung wieder zugeführt werden.

Da bei der Verwendung als Brennstoff

- das bei z.T. sehr niedrigen Temperaturen aus der Ladung anfallende Gas erst auf eine Temperatur von ca. 20°C vorgewärmt und auf einen Druck von ca. 2 bis 3 bar verdichtet werden müsste und
- die überwiegende Anzahl der IMO-Mitgliedstaaten das Abblasen von Gasen innerhalb ihres Hoheitsgebietes strikt verbieten,

hat sich die Rückverflüssigung durch Kühlung weitgehend durchgesetzt.

Bei der direkten Rückkühlanlage (Bild 7.25) wird der aus der Ladung anfallende Dampf durch einen Kompressor verdichtet und einem mit Seewasser beaufschlagten Verflüssiger (Kondensator) zugeführt. Infolge des höheren Druckes verflüssigt sich der Dampf durch Wärmeentzug und kann der Ladung über ein Drosselventil wieder zugeführt werden.

Eine Kühlung und Rückverflüssigung ist nur möglich, wenn die Temperatur des verdichteten Gases höher ist als die Seewassertemperatur. Liegt die Seewassertemperatur über der kritischen Temperatur des Gases, ist eine Rückverflüssigung mit einer direkten Anlage nicht möglich.

Stationärer Betrieb: Kurshalten

Unter stationärem Betrieb von Manöviereinrichtungen wird im Wesentlichen das Kurshalten verstanden. Alle anderen Anwendungen sind dem Sinne nach instationär. Kurshalten wird erreicht durch einen mittleren Ruderwinkel, der etwa die auf das Schiff im zeitlichen Mittel einwirkenden Kräfte und Momente kompensieren soll. Dieser Ruderwinkel kann je nach Bauart des Schiffes sehr groß werden, vor allem dann, wenn das Schiff wenig Unterwasserlateralfäche hat und eine große Windangriffsfläche aufweist. Es entsteht dann bei schräg einkommendem Wind und Seegang sowohl eine externe Querkraft als auch ein externes Giermoment, beides muss das Schiff ausgleichen. Der Schiffsrumpf muss dazu eine Querkraft erzeugen, was nur dadurch möglich ist, dass der Schiffsrumpf wie ein Tragflügel angestellt wird. Dadurch entsteht der so genannte Driftwinkel, der so groß wird, dass die durch ihn erzeugte Rumpfquerkraft gerade gleich der externen Querkraft ist. Je besser also der Rumpf durch einen geeigneten Entwurf in der Lage ist, eine Querkraft zu erzeugen, desto geringer ist der Driftwinkel. Weil der Zusatzwiderstand vom Driftwinkel abhängt, wird der kurshaltebedingte Zusatzwiderstand und damit letztlich der Kraftstoffverbrauch besonders dann gering, wenn es gelingt, den Driftwinkel klein zu halten. Dies kann durch einen dazu geeigneten Entwurf des Rumpfes erfolgen, in dem hinten viel Unterwasserlateralfäche angeordnet wird, welche in Spanrichtung scharfkantig ausgeprägt ist (z. B. Steuerfinnen oder Totholzbereiche). Gleiches gilt für den stationären Ruderwinkel: Je größer das Giermoment ist, das durch den mittleren Ruderwinkel aufgebracht werden kann, desto geringer ist der Zusatzwiderstand. Bild 8.4.2 zeigt in Form eines Polardiagrammes den beim Kurshalten gegen Wind aus verschiedenen Richtungen entstehenden Brennstoffmehrerbrauch als Funktion von Kurs und Geschwindigkeit.

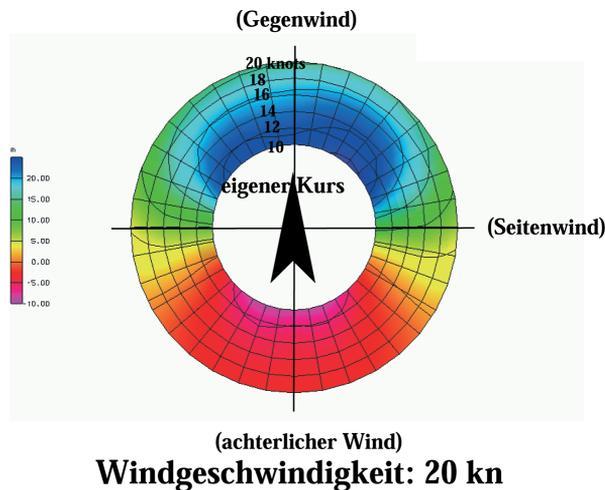


Bild 8.4.2: Brennstoffmehrerbrauch durch Kurshalten bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten

Ein weiterer Sonderfall eines stationären Manövers ist der oben bereits andiskutierte Fall des stationären Haltens des Schiffes gegen Querwind (Crabbing).

Instationärer Betrieb: Nautische Manöver

Praktisch alle Aufgaben der Manövierorgane, außer dem stationären Kurshalten, sind rein instationärer Natur, wobei man zwischen Manövern, bei denen nur der Kurs geändert wird (wie Drehkreise, Zick-Zack-Manöver) unterscheidet und zwischen solchen, die gleichzeitig starken Geschwindigkeitsschwankungen unterworfen sind (wie z. B. das Not-Stopp-Manöver). Besonders stark instationär und damit berechnungstechnisch außerordentlich schwer zugänglich sind alle Manöver bei sehr langsamen Geschwindigkeiten, weil hierbei die auf das Schiff einwirkenden Kräfte sehr starken Schwankungen unterworfen sind, z. B. durch Änderungen der Propellersteigung oder Drehzahl sowie durch Zu- oder Wegschalten von Strahlern oder durch heftige Ruderbewegungen. Aus den oben beschriebenen Manövierkennwerten geht hervor, dass für die sehr stark instationären Manöver keine Kennwerte oder Vorgaben existieren,

9.5 Konstruktion der Schiffe

9.5.1 Allgemeines

Die Konstruktion der stählernen Seeschiffe wird von der Funktion, der Sicherheit von Ladung und Menschen und den Produktionsbedingungen, insbesondere durch die Schweißtechnik bestimmt. Nach tausend Jahren Holzschiffbau, setzte sich im Zuge der Einführung des industriellen Schiffbaus der Bau der Schiffe aus Eisen und später aus Stahl, besonders in England, schnell durch. Hintergrund dieser eigentlich schnellen Entwicklung in England war, dass der Eisenschiffbau bei der Gestaltung des Schiffskörpers auf die Erfahrungen des Eisenbrückenbaus und bei dem Fügeverfahren auf die Niettechnik der Dampfkesselherstellung zurückgreifen konnte. Die Nietkonstruktionen erforderten sehr umfangreiche mechanische Werkstätten und waren, bedingt durch die Schiffsform, recht kompliziert und arbeitsaufwändig. Erst mit der Einführung der Schweißtechnik und der Sektionsbauweise rationalisierte sich der Bau der Schiffe zu der heute sehr günstigen Bauweise. Den Schiffskörper als Balkenträger anzusehen hatte zunächst seine Schwierigkeit darin, dass die Schiffe keine eisernen Decks erhielten, sondern Holzdecks, sodass dem „Biegeträger Schiff“ die „Obere Gurtung“ fehlte. Daher zog man unter dem Holzdeck seitliche Decksstreifen ein, die so genannten Decksstringer. Noch heute wird daher die seitliche Beplattung des Wetterdecks als Decksstringer bezeichnet. Die hölzernen Querspanten ersetzte man durch Walzprofile und stützte diese in verschiedenen Höhen mit horizontal verlaufenden Trägern, nämlich den besagten Stringern, ab.

Außenhaut

Die Außenhaut besteht heute aus einer durch Quer- oder Längsspanten sowie ggf. durch Stringer verstärkten Beplattung. Die einzelnen Platten werden in Gängen, gezählt vom Kiel bis zu Seite Deck aufgeteilt. Die Nummerierung der einzelnen Platten erfolgt von hinten nach vorne. Die Plattendicke ist bei Querspantenbauweise größer als bei Längsspantenbauweise, denn bei erster Bauweise muss die volle lokale Plattenbiegespannung zu der Längsfestigkeitsspannung

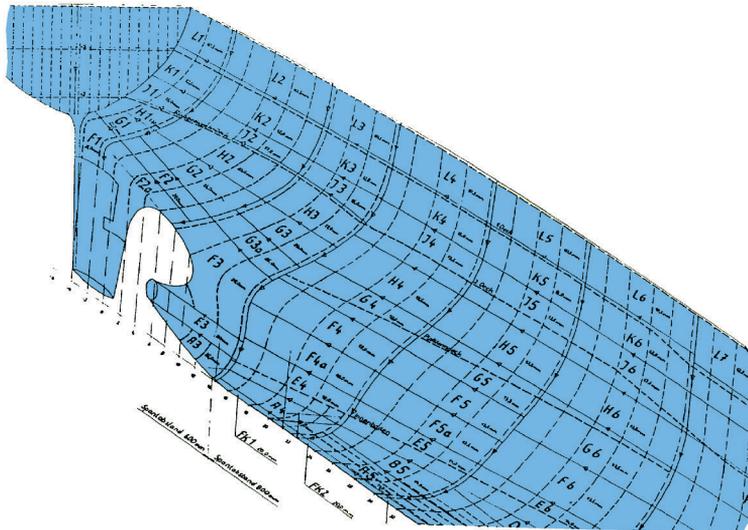


Bild 9.5.1: Außenhautbeplattung