



University of Applied Sciences

HOCHSCHULE
EMDEN·LEER

Fachbereich Seefahrt

Marcus Bentin, Michael Vahs, Philipp Schmelzer,
Jürgen Göken, Sarah Fayed, Hauke Buse, Dorte Knoop

Maritime Studies 2016

Schriftenreihe der Hochschule Emden/Leer, Band 26

Marcus Bentin, Michael Vahs, Philipp Schmelzer,
Jürgen Göken, Sarah Fayed, Hauke Buse, Dorte Knoop

Maritime Studies 2016

Hochschule Emden/Leer
Emden 2018

Schriftenreihe der Hochschule Emden/Leer, Band 26

Verlag: Hochschule Emden/Leer
Druckerei: VON DER SEE, Emden
Buchbinderei: VON DER SEE, Emden

© 2018

Hochschule Emden/Leer

Constantiaplatz 4

26723 Emden

E-Mail: bibliothek.emden@hs-emden-leer.de

ISBN: 978-3-944262-16-1

Liebe Leserinnen und Leser,

der Fachbereich Seefahrt der Hochschule Emden/Leer möchte seinen Mitarbeitern und Studierenden eine Plattform in Form einer jährlich erscheinenden Schriftenreihe bieten. Hier können ausgezeichnete Bachelor- oder Masterarbeiten sowie Forschungsbeiträge und Ergebnisse veröffentlicht werden. Das Jahrbuch kann nicht den Anspruch auf eine vollständige Abdeckung der Wissensbreite und Forschungstiefe des Fachbereichs erheben, da es auf freiwilligen Beiträgen beruht. Das Ziel ist, ein wissenschaftliches Paper zu veröffentlichen, um maritim interessierten Personen eine Idee zu geben, mit welchen Themen wir uns am Fachbereich Seefahrt wissenschaftlich beschäftigen. Maritime Wissenschaft ist ein Querschnittsthema, in dem sowohl kaufmännisch-juristische Fragestellungen wie auch unterschiedliche technisch-nautische Fragestellungen miteinander verknüpft sind. Im Prinzip geht es immer irgendwie um das Thema Schiff mit all seinen Betriebsprozessen. Der Fachbereich Seefahrt zeichnet sich durch ein interdisziplinäres Kollegium mit folgenden Professuren aus (Stand 31.12.2016):

Dekan, Prof. Dr. Marcus Bentin – Schiffstechnik

Prof. Michael Bochmann – Navigation und Wirtschaftswissenschaften

Prof. Dr. Jürgen Göken – Physik und Meteorologie in der Nautik

Prodekan, Prof. Dr. Klaus Heilmann – Betriebswirtschaftslehre

Prof. Dr. Jens Klußmann – Informatik und Logistik

Prof. Rudolf Kreuzer – Cargo Care/ Ladungsmanagement

Studiendekan, Prof. Freerk Meyer – Maschinenbau

Prof. Dr. Mathias Münchau – Maritimes Recht

Prof. Dr. Jann Strybny – Umwelttechnik

Prof. Tomaschek – Navigation

Prof. Michael Vahs – Technische Schiffsführung

Der Fachbereich Seefahrt in Leer bietet zwei moderne maritime Studiengänge an, die für eine erfolgreiche Berufslaufbahn vorbereiten: Zum einen den Studiengang Nautik und Seeverkehr, zum anderen den Studiengang Schiffs- und Reedereimanagement mit drei möglichen Vertiefungsrichtungen:

Reedereimanagement und Logistik

Schiffs- und Umwelttechnik

Sicherheits- und Qualitätsmanagement

Im Fachbereich Seefahrt ist die Fachschule für Seefahrt mit 5 Seefahrtschullehrern (bzw. Oberstudienräten) integriert. Angeboten wird ein Bildungslehrgang zum Nautischen Wachoffizier/Kapitän auf Kauffahrteischiffen aller Größen in allen Fahrtgebieten bis auf Fischereifahrzeuge, sowie ein Fachschulbildungslehrgang zum Nautischen Wachoffizier/Kapitän für den Dienst auf Kauffahrteischiffen mit einer Bruttoreaumzahl bis zu 500 in der Nationalen Fahrt.

Der Fachbereich Seefahrt entwickelte sich 2016 dynamisch weiter. Neben manchen Audits und Reakkreditierungen ist die Einführung einer 3. Vertiefungsmöglichkeit „Sicherheits- und Qualitätsmanagement“ für den Studiengang Schiffs- und Reedereimanagement besonders hervorzuheben. Damit haben die Studierenden eine weitere sehr attraktive Möglichkeit, sich zu vertiefen. Diese Vertiefungsmöglichkeit ist an der deutschen Küste einmalig und wird den Fachbereich weiter stärken. Eine Professur, die diese Fachrichtung mit vertreten soll, ist beantragt und wird ausgeschrieben.

Ein weiterer Hoffnungsträger ist die Kooperation mit dem Western Norway University of Applied Sciences mit dem Ziel einen gemeinsamen Master Studiengang „Maritime Operations“ M.Sc. zu entwickeln und zu betreiben. Ende 2016 war dieser neue Master Studiengang in Norwegen akkreditiert und die deutsche Akkreditierung war in Vorbereitung. Seit Juli 2017 hat dieser Studiengang auch die Akkreditierung der deutschen ZEVA und ist im September 2017 erfolgreich mit 20 Studienanfängern gestartet.

Das Wintersemester 2016 war am Fachbereich durch massive Umbauarbeiten des B-Gebäudes gezeichnet, was zum einen logistische Meisterleistungen der Vorlesungsplanung zur Folge hatte und zum anderen viele Ressourcen zur Baubetreuung und Laborplanung in Anspruch nahm. Zum Ende des Wintersemesters 2016 konnte der Fachbereich sein neues B Gebäude- das Center for Modeling and Simulation - in Betrieb nehmen. Es besticht durch neue Labore für Logistiksimulation und VR, Management-, Nautik- und Maschinenraumsimulationen sowie Labore für Werkstoffphysik, Umwelt-technik und ein angeschlossenes CFD Labor.

Der Fachbereich Seefahrt geht in eine spannende Zukunft!

Viel Spaß beim Lesen wünscht

Ihr

Marcus Bentin

INHALTSVERZEICHNIS

I	VIBRATION ANALYSIS: VIBRATION ANALYSIS BASED ON ACOUSTIC AND MECHANICAL MEASUREMENT METHODS	S. 5 - 22
I.I	INVESTIGATION OF STRAIN DEPENDENT DAMPING OF THE TITANIUM ALLOY TI-10V-2FE-3Al AT ROOM TEMPERATURE	5 - 9
I.II	ACOUSTIC MEASUREMENTS OF SOUND DISTRIBUTION ON DIFFERENT ORGAN PIPES & ON A PIANO SOUNDBOARD USING DIFFERENT ACOUSTIC DETECTION SYSTEMS	9 - 14
I.III	ACOUSTIC MEASUREMENT ON BOARD MS „OSTFRIESLAND“	14 - 18
I.IV	STUDYING THE CORRELATION BETWEEN MOISTURE CONTENT UND DAMPING PROPERTIES OF SPRUCE WOOD	18 - 21
AUTOREN	Prof. Dr. rer. nat. habil. Jürgen Göken, Sarah Fayed (M.Sc.)	
II	IN-SITU - MBR: ULTRASCHALL ZUR IN-SITU-REINIGUNG VON MEMBRANEN IN MEMBRANBIOREAKTOREN (MBR) AN BORD VON SCHIFFEN - UNTERSUCHUNG ZU DEN AUSWIRKUNGEN AUF AKTIVITÄT UND STRUKTUR DES BELEBTSCHLAMMES	S. 23 - 30
AUTOREN	Dr. Hauke Buse, Dorte Knoop (M.Sc.)	
III	STABILITÄT - TITANIC: UNTERSUCHUNG DER HEUTIGEN SOLAS-REGELN BZGL. DER STABILITÄT & LECKSICHERHEIT AM BEISPIEL DER TITANIC MIT HILFE VON PARAMARINE	S. 31 - 38
AUTOREN	Philipp Schmelzer (B.Sc.), Prof. Dr. M. Bentin, Prof. Kap. M. Vahs	
IV	KONTAKT	S. 39



1. INVESTIGATION OF STRAIN DEPENDENT DAMPING OF THE TITANIUM ALLOY TI-10V-2FE-3AL AT ROOM TEMPERATURE

Lightweight designs offer a major contribution regarding reduced fuel consumption in several transportation fields, e.g. shipping sector, and thus, reduced CO₂ emissions. An effective way to minimise the weight without major changes in the design is the substitution of construction materials with high specific density like steels by lighter titanium alloys [1], [2] with simultaneous maintaining of the strength. Especially in the marine industry, titanium is a suitable construction material due to its low density (roughly half the weight of steel, nickel and copper alloys), its high strength-to-density ratio, its high temperature resistance (up to 600 °C) and its remarkable corrosion/erosion resistance. However, the integration of titanium materials in mass production is still low, due to their complex ore processing and poor workability. Therefore, much of the titanium research still focuses on the improvement of its mechanical properties aiming at the optimisation of its workability.

EXPERIMENTAL DETAILS

In this investigation, three thermo-mechanically processed specimens of the titanium alloy Ti-10V-2Fe-3Al (shortly, Ti-10-2-3) in a sequence of hot forging and varied conditions of solution treatment and subsequent ageing, were used for studying the vibration behaviour of the material with the help of non-destructive, contact-free acoustic measurements. The variation in the cooling manner of the specimens aimed at producing an obvious difference in the final microstructure, and thus a possibly considerable difference in the damping behaviour of the material. The first Ti-10-2-3 sample was hammer-forged and cooled in air, the second one was hammer-forged and quenched in water and the third one was hammer-forged, quenched in water and aged (520 °C for 2 hours). More details about the processing conditions of the specimens are found in Ref. [3]. The specimens were cut to bending beams of 120 mm length (bending length: about 88 mm), 10 mm width and 2 mm thickness.

The measurements were carried out with the help of a highly sensitive acoustic probe (Microflown™ probe, Microflown Technologies, NL), which was able to accurately measure the sound pressure. Figure 1 shows a sketch of the experimental set-up used for the acoustic measurements. It consisted of a crank which was attached to a roller on which a tooth was mounted. When the roller was rotated manually the tooth touched the free end of a bending beam and pressed the beam down to a predetermined deflection. Subsequently, the sample performed a freely decaying oscillation after the tooth had passed the free end of the bending beam. The resulting time-dependent sound pressure data values were digitally recorded by a two-channel signal conditioner at a sampling rate of 5 kHz and then transferred to the computer. 25 successive measurements at 5 different flexural vibration amplitudes (different sample deflections) were performed on each Ti-10-2-3 sample. These measurements served on the one hand for the investigation of the relationship between the bending deflections of the samples and the resulting sound pressure values, and on the other hand, for studying the damping behaviour of different Ti-10-2-3 samples as a function of the strain.

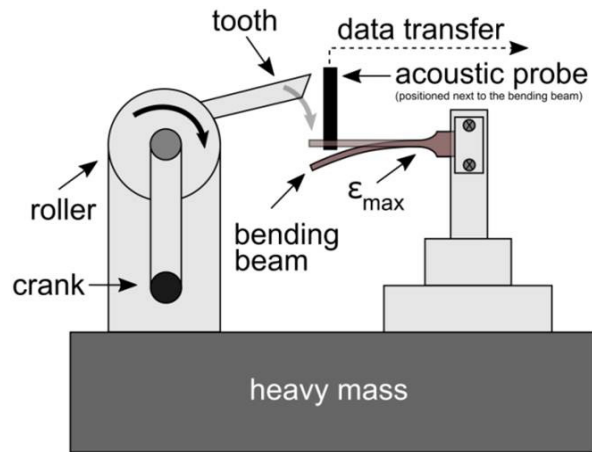


Figure 1:
Experimental set-up of the applied acoustic measurements.

ACOUSTIC OUTPUT

Due to the set-up's vibration, which occurs when the vibration energy of the sample is transferred to the whole set-up and also due to other existing residual effects of the apparatus damping, adequate data processing was necessary to obtain a relatively denoised sound pressure signal of the excited sample. For example, the background signal accompanying each of the vibration measurements had to be recorded and eliminated from the total output signal. A correlation between the maximum values of the sound pressure amplitudes S_n ($n = 0, 1, 2, \dots$) received by the acoustic probe and the corresponding sample deflection z'_n could be determined by means of the applied measurements at 5 different flexural vibration amplitudes. The results were linearly fitted and plotted in Figure 2.

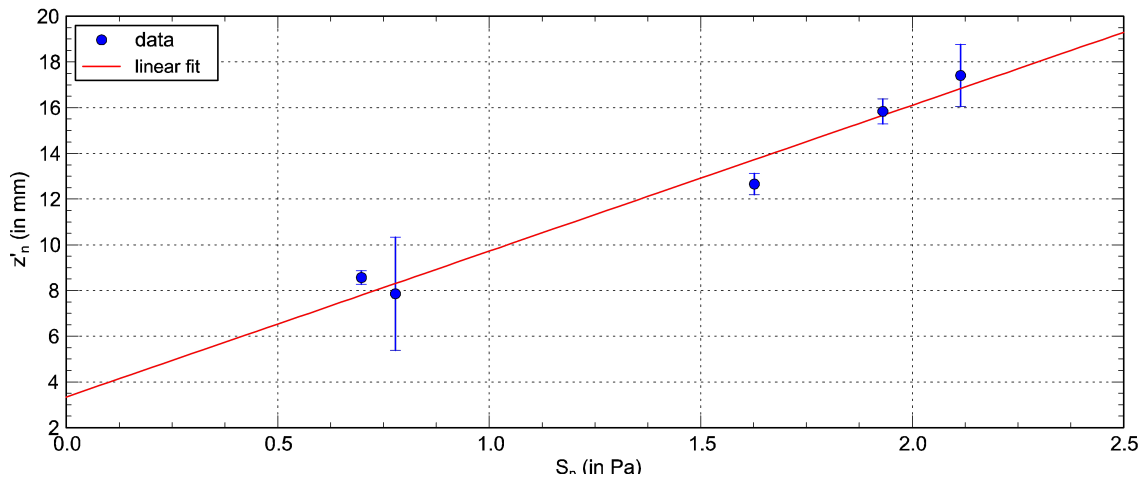


Figure 2:
Correlation between the maximum values of the sound pressure amplitudes S_n and the corresponding sample deflection z'_n .

The acoustic measurements verified that the maxima of the decaying sound pressure can, in a good approximation, directly be attributed to the corresponding temporal decrease of the sample deflections (amplitudes of flexural vibration).

RESULTS AND DISCUSSION

The micrographs representing the microstructural changes due to the mentioned processing methods are described in detail in Ref. [3].

In order to analyse the variation in the decay behaviour of the output signal that indicate microstructural differences, the maxima (peak values) of the time-dependent acoustic signal were determined with the help of a self-written program in LabVIEW from National Instruments™ using a parabolic curve fit. An exponential decay of the obtained peak values was then applied on the decaying output signal. The temporal decay of the peak values $S(t)$ can be written as

$$S(t) = S_0 e^{-\beta t} + b, \quad (1)$$

where S_0 is the initial sound pressure amplitude, $S(t)$ is the time-dependent sound pressure amplitude and b is a constant offset. The damping constant β could be determined from the decay of the signal's envelope curves for the three investigated Ti-10-2-3 samples. The corresponding damping constants β from Eq. (1) for the three Ti-10-2-3 samples were: $\beta = 16.6 \text{ s}^{-1}$ for the as-forged and cooled in air sample, $\beta = 36.8 \text{ s}^{-1}$ for the as-forged and quenched in water sample, and $\beta = 8.6 \text{ s}^{-1}$ for the as-forged, quenched in water and aged sample. The variation in the β values emphasise the difference in the specimens' microstructures, which lead to significant changes in the strain dependent damping. The current maximum strain value $\varepsilon_{\max,n}$ can be determined from the current sound pressure amplitude $S_n(t)$ as:

$$\varepsilon_{\max,n} = \frac{3a}{2l^2} c S_n(t), \quad (2)$$

where a and l represent the thickness and the length of the sample, respectively, and c is the slope of the linearly fitted curve in Figure 2. The logarithmic decrement method had been used to determine the damping of the investigated samples in time domain. It is assumed that the temporal decay of the sound pressure amplitudes corresponds to the temporal decay of the amplitudes of the flexural vibration. Thus, the material damping could be received by measurements of $S_n(t)$. Taking the drop of the sound pressure amplitude in k successive cycles into consideration, the logarithmic decrement δ is obtained from

$$\delta = \frac{1}{k} \ln \left(\frac{S_n(t)}{S_{n+k}(t)} \right), \quad (3)$$

where $S_n(t)$ is the sound pressure amplitude at the time nT (T : cycle time) and $S_{n+k}(t)$ is the drop of amplitude in k successive cycles later at the time $(n+k)t$ in free decay vibration [4]. Due to the dependence of the apparatus damping δ_a at very low ε_{\max} on individual acoustic conditions, the data of a very stiff reference sample and also those of the titanium specimens were used to calculate an average apparatus damping $\delta_a \approx 12 \times 10^{-3}$. This value was subtracted from the calculated logarithmic decrement for each of the three Ti-10-2-3 samples. Owing to the presence of energy dissipation in air in addition to the energy dissipation in the solid, a higher material damping than expected was achieved. An approximation of the resulting data were applied by dividing the experimentally obtained data by the value 100 (Figure 3), which relates to earlier own studies on the stiff reference sample's damping behaviour.

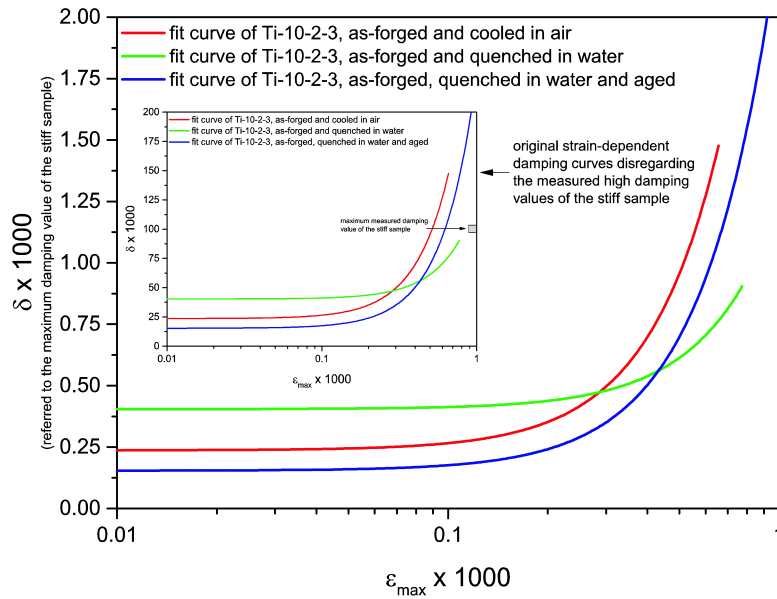


Figure 3:
Fitted strain-dependent damping curves of Ti-10-2-3 samples after different thermal treatment procedures.

All curves showed a strain-independent (δ_0) and a strain-dependent part (δ_h). It is obvious that the sample which was hammer-forged and quenched in water tended to have the highest damping value, as approximately expected from the damping constants β or the envelope fit curves. The corresponding microstructure [3] was characterised by a high amount of precipitates. This means a flagrant impoverishment of atoms in the matrix which has a significant impact on the material damping [5].

It can be assumed that dislocation damping is the main source of the experimentally received curve progression. The damping mechanism is explained by the Koehler-Granato-Lücke (K-G-L) vibrating string model proposed by Koehler [6] and developed further by Granato and Lücke [7], Figure 4. Experimental findings of Bleasdale and Bacon [8] approved this assumption and proposed that high strains increase the mobile dislocation density and thus increase the damping at lower strains. In case of precipitation development, the distance between the strong pinning points of the matrix becomes larger. As a consequence, the dislocation segment is more moveable which leads to a higher damping. It could be observed that subsequent ageing after water quenching resulted in a distinct reduction of damping. This can be attributed to a repinning of the dislocations because some precipitations were dissolved again. Moreover, a higher maximum strain amplitude for a break-away of dislocations from pinning points for the water-cooled sample was detected. This gives an indication that the dislocations are less movable due to the rapid cooling which can be traced to higher stresses in the material.

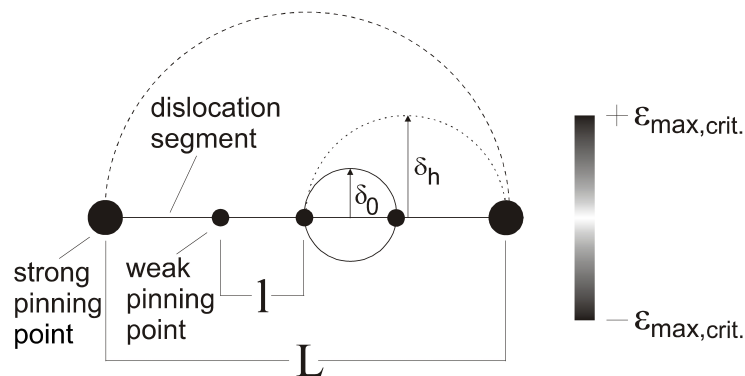


Figure 4:
Pinning and bowing out of a dislocation segment according to the K-G-L model.
 l : dislocation segment between weak pinning points.
 L : dislocation segment between strong pinning points.

CONCLUSIONS

The Ti-10V-2Fe-3Al alloy (Ti-10-2-3), which is characterised by its high tensile strength and high resistance against creep, underwent a high strain rate deformation as an alternative for isothermal or cost-intensive hot die forging. Since the cooling process has a strong influence on the microstructural development, especially by the evolution of precipitates, structure-sensitive damping measurements were carried out on different Ti-10-2-3 samples (hammer-forged and cooled in air; hammer-forged and quenched in water; hammer-forged, quenched in water and aged (520 °C for 2 hours)) using an acoustic set-up.

It was found that the decaying sound pressure can, in a good approximation, directly be attributed to the corresponding temporal decrease of the sample deflections. Based on this correlation, the logarithmic decrement method has been used to measure the material damping as a function of the maximum strain amplitude of the sample. The obtained results were in correlation with the sequence of the material damping of Ti-10-2-3 samples as received from the slope of the decay curves of sound pressure measurements.

The curve progression of the strain-dependent damping curves was explained in the framework of the Koehler-Granato-Lücke (K-G-L) string model where dislocations are pinned by strong and weak pinning points. When precipitation takes place, the matrix becomes depleted in atoms which leads to a stronger bowing out of dislocation segments and, thus, to a higher material damping. This could be observed for the Ti-10-2-3 sample which was hammer-forged and quenched in water whereas the amount of precipitations was expected to be reduced by ageing because the material damping was lower. The strain dependence of the damping of the Ti-specimen which was hammer-forged and cooled in air allows the conclusion that the dislocations are pinned more strongly which can be due to high stresses in the material by this cooling procedure.

2. ACOUSTIC MEASUREMENTS OF SOUND DISTRIBUTION ON DIFFERENT ORGAN PIPES AND ON A PIANO SOUNDBOARD USING DIFFERENT ACOUSTIC DETECTION SYSTEMS

The aim of these investigations was to localise the sound emission and thus accomplish a picture of the acoustic radiation behaviour on the walls of different musical instruments. The manufactures assume that the design and specific adjustments on their instruments have great influence on a harmonic sound development. This assumption had to be scientifically approved. To localise the sound emission, different acoustic measuring instruments were used. In a first experiment, different organ pipes were placed in the centre of a 3D-microphone array with the goal to create a 3D-beamforming picture showing the specific sound field of the pipes. A second experiment involved the measurement of a piano soundboard which is either tuned with or without special weights. In order to localise the proper position for the weights, the measurement was carried out with a spiral array and a mobile handheld array which gives a live translation of the recorded data for immediate comparison.

2.1 ACOUSTIC MEASUREMENTS OF DIFFERENT ORGAN PIPES

EXPERIMENTAL DETAILS

The acoustic measurements on different organ pipes were applied with the help of a 3D beamforming method. The measurement object is positioned in a cubic microphone array (80 x 80 x 80 cm³), where each of 4 array walls is equipped with 12 MEMS microphones of 24 bit resolution, a sampling rate of 48 kHz and a frequency range of 20 Hz to 20 KHz. Besides the microphone arrangements, a digital camera was mounted in the middle of one of the array walls, and thereby provide an acoustic camera system that synchronously record the incident sounds on the microphones and display the position and the intensity of sound colour-coded on the computer's screen. The three-dimensional location of each microphone and that of the camera in the cubic array were recorded in the associated software, where also other technical adjustments were required to establish a correct co-ordination between the acoustic setup and the software.

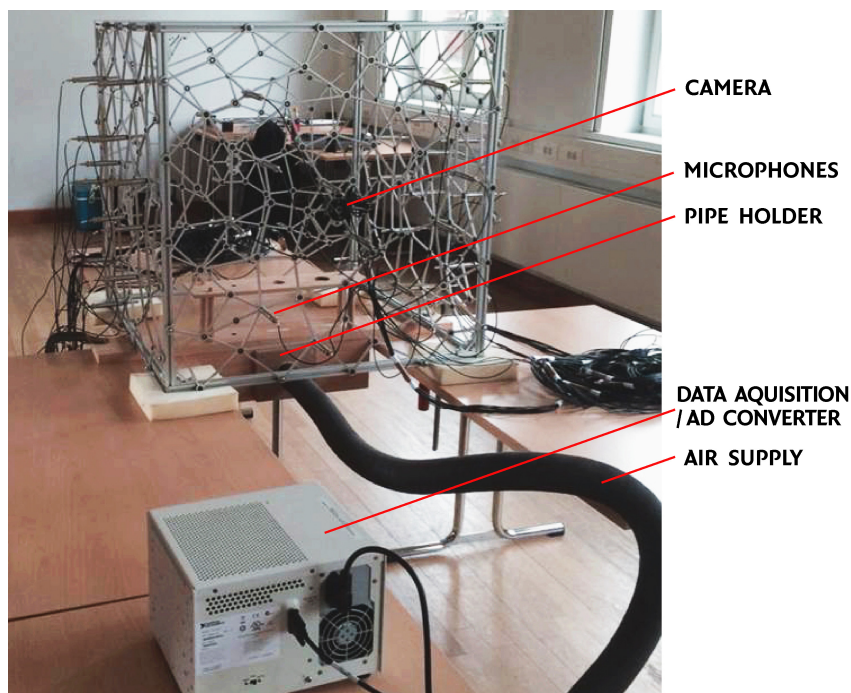


Figure 5:
Experimental setup of the acoustic measurements on organ pipes using a 3D microphone array and a mounted digital camera.

The experimental setup (Figure 5) consisted of: a 3D array with 48 mounted microphones and a digital camera, an organ pipe holder with different openings for different sized pipes, an air compressor which was used to activate the oscillation of the air column inside the attached pipe and afford sound production, and a data acquisition system with a PC. A measurement had a length of 10 seconds, and the measurements have been recorded in a frequency range of 200 to 2000 Hz. Different metal pipes (thick- and thin-walled high-alloyed, thick- and thin-walled low-alloyed) and different wooden pipes (thin-walled hardwood, thick- and thin-walled softwood) and a reed organ pipe have been acoustically measured.

RESULTS AND DISCUSSION

The following figures demonstrate some of the resulting 3D colour-coded beamforming measurements of the organ pipes, showing sound emission behaviours that to some extent differ with respect to wall thicknesses and sizes, and obviously with respect to materials and shapes.

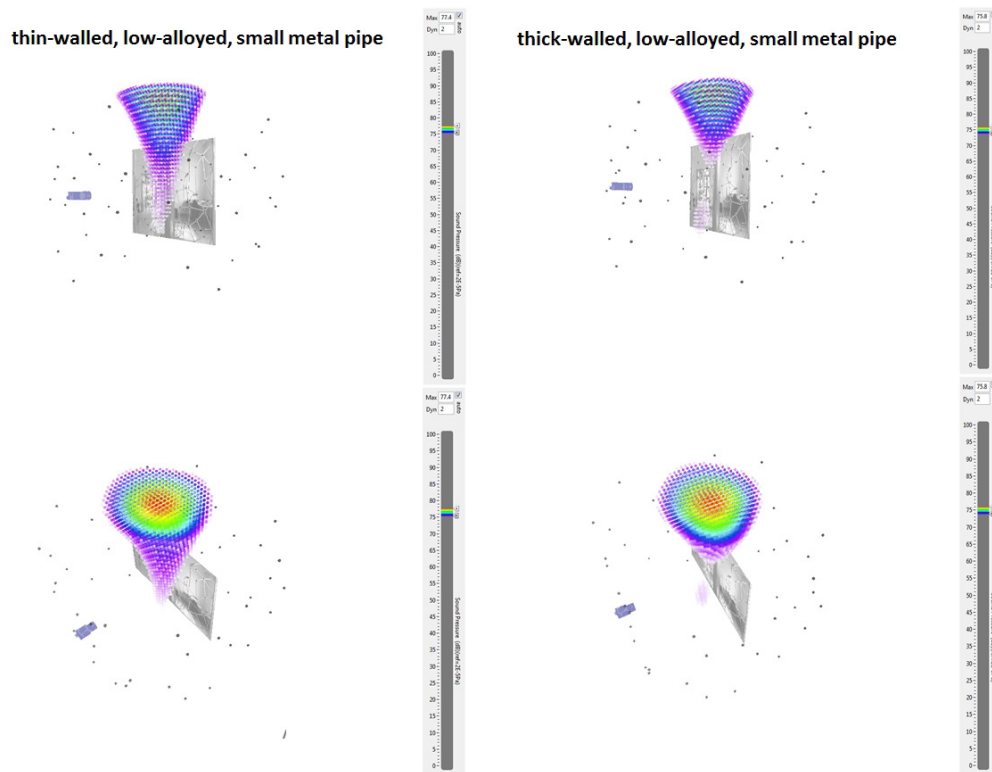


Figure 6:
Resulting colour-coded acoustic measurements on thin- and thick-walled,
low alloyed small metal pipes.

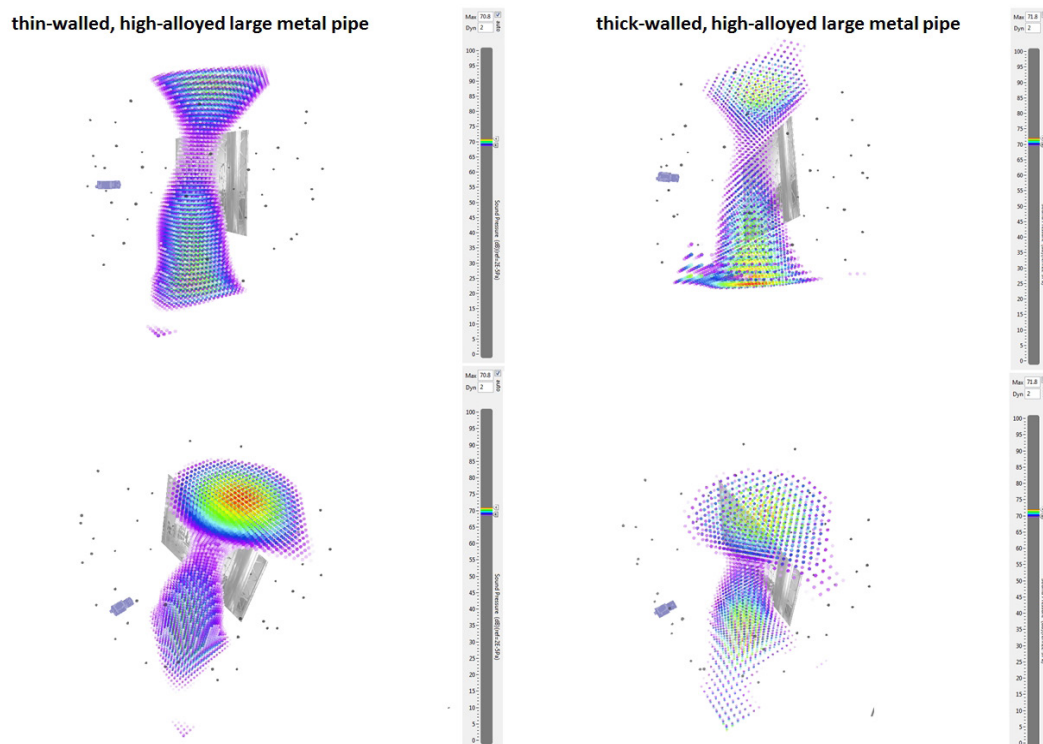


Figure 7:
Resulting colour-coded acoustic measurements on thin- and thick-walled,
high alloyed large metal pipes.

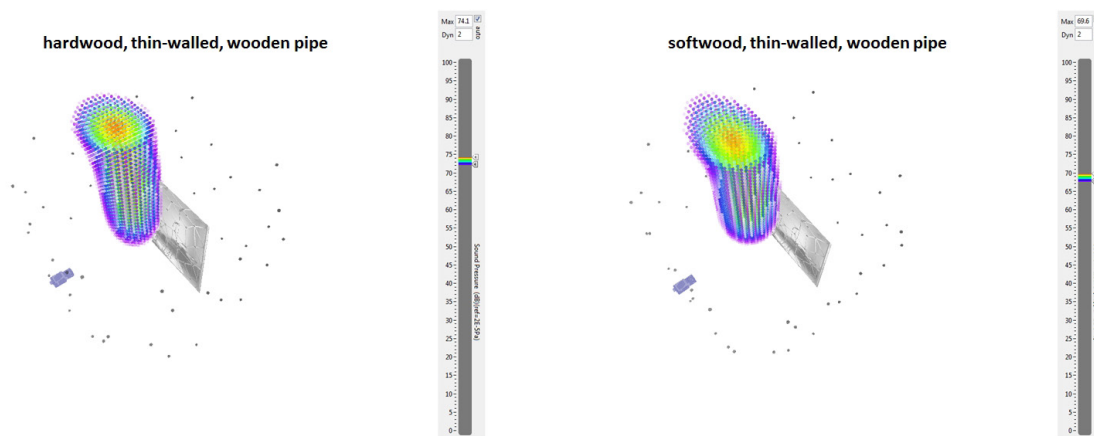


Figure 8:
Resulting colour-coded acoustic measurements on thin-walled, hardwood and softwood pipes.

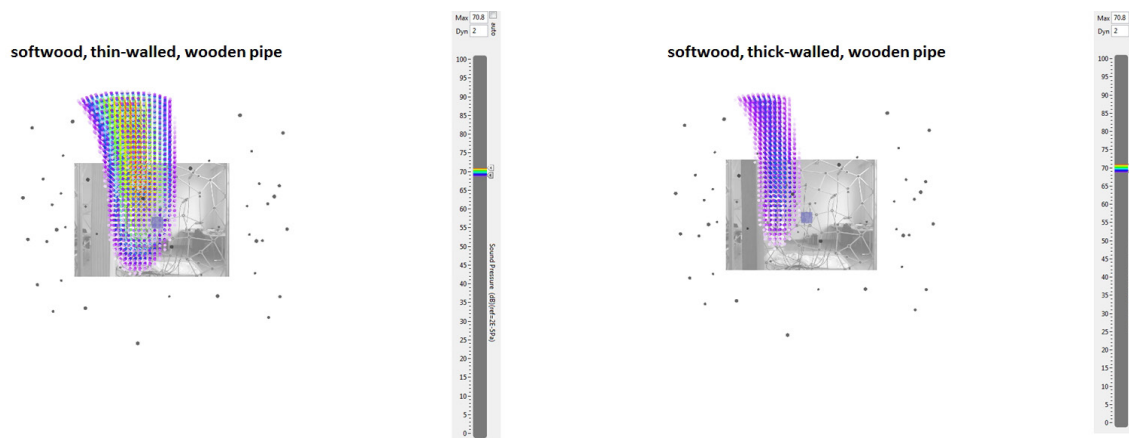


Figure 9:
Resulting colour-coded acoustic measurements on thin- and thick-walled, softwood pipes.

CONCLUSIONS

The results of the organ pipe measurements generally show reasonable results relating to the sound level, which increases gradually from the outer walls to the centre of the pipes (Figure 6 - Figure 9), where the most motion of air particles takes place and hence, the maximum sound radiation occurs (red-coded). On the other hand, the results demonstrate crucial differences between the colour-coded development of sound diffusion at the top opening and the labium at equal frequency settings, Figure 6. This leads back to the individual design and material of the pipes. The sound radiation's behaviour of the metal organ pipes shows two opposing conical shapes meeting at the vertex (at the labium of the pipe, Figure 7), where less radiation occurs, while it shows an almost cylindrical behaviour in the case of wooden pipes (Figure 8, Figure 9). The colour-coded results demonstrate different sound intensities at different wall thicknesses, as thick walls offer lower sound radiation than thin walls, Figure 9. The thickness of the wooden organ pipes and different alloying of the metal pipes do not play a major role in the behaviour of the sound emission distribution on the pipes. The good quality of an organ pipe and the realisation of the player's own idea of an ideal sound might explain the fact, that different musicians prefer organ pipes with different materials.

2.2 ACOUSTIC MEASUREMENTS OF A PIANO SOUNDBOARD

EXPERIMENTAL DETAILS

The acoustic measurements on the soundboard of a piano were applied with the help of a camera that is mounted on a handheld intensity probes array by means of the acoustic near field holography method. The experimental setup of the measurement is shown in Figure 10.



Figure 10:
Experimental setup of the acoustic measurements on the piano soundboard using a handheld intensity array.

The measuring system is able to locate low frequency-stationary and -transient sounds starting from 40 Hz. The localisation took place by scanning predefined sections of the surface of the piano soundboard. The measured sections were selected by the piano maker, who developed a method to achieve more homogeneous tones out of the pianos with the help of positioning specific metal weight blocks (REE[®])¹ on the selected sections. The displayed results on the PC using an associated software show colour-coded intensities at each probe position in a photo or a video. In contrast to the aforementioned acoustic 3D microphone array the live measurement of the handheld mobile array is the more favourable for the evaluation of sound. The soundboard was imaginarily divided into 9 sections (3 x 3 equal rectangles), where the final measurements were mainly applied in the upper right rectangle. The measurements took place in the frequency ranges of: 155 Hz - 235 Hz, 174 Hz - 176 Hz and 435 Hz - 445 Hz. The sound intensity data were transferred to the computer with the help of a data acquisition system of 24 bit and sampling rate of 48 kS/s.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 11 demonstrates one of the resulting colour-coded acoustic measurements on the upper right section of the piano soundboard, showing the sound intensity behaviours in the cases of the application or of non-application of the REE[®] at a frequency range of 174 - 176 Hz. The measurements with REE[®] definitely constitute a difference in the sound intensity distribution on the selected sections of the piano soundboard. The distinct homogeneity of sound could be assigned to the smooth transition from lower intensity to higher intensity sounds, which could be established from the colour-coded results.

¹www.ree-verfahren.de/das-ree-verfahren, access: January 2016

EXPERIMENTAL DETAILS

In order to visualise the sound field and to accomplish an accurate localisation of the sound pressure amplitudes occurring in different areas on the ship which are exposed to vibration, a sound source localisation system (acoustic camera)³. The system consists of a spiral microphone array with integrated digital camera, a data acquisition system and PC to process the data. The incident sound on the microphones is recorded synchronously, where the position and strength of the sound sources are determined and shown colour-coded. The main intention of the output data analysis was the detection of sound sources of constant frequencies, which provide information about the ship's acoustics. Due to the constancy of the frequencies over the entire measurement, the output data could be clearly assigned to the vessel, and not to other secondary effects, e.g. talking passengers. Further measurements with a sound level meter were synchronously performed to provide, with resulting absolute sound level values, a reference measurement to the colour-coded measurements of the acoustic camera. Due to shortage of space and possible loss of acoustic information in narrow corners inside the engine room, the measurements were carried out there with the help of a highly sensitive acoustic probe (Microflown™ probe, Microflown Technologies, NL), which was supplied with a digital camera that provided a correlated picture to the colour-coded measurements of sound pressure (for further use of this acoustic probe see also chapter 1: "Investigation of strain dependent damping of the titanium alloy Ti-10V-2Fe-3Al at room temperature".) The following figure demonstrates the positions on the vessel, which were acoustically measured on the reconstructed vessel with the help of the mentioned devices.

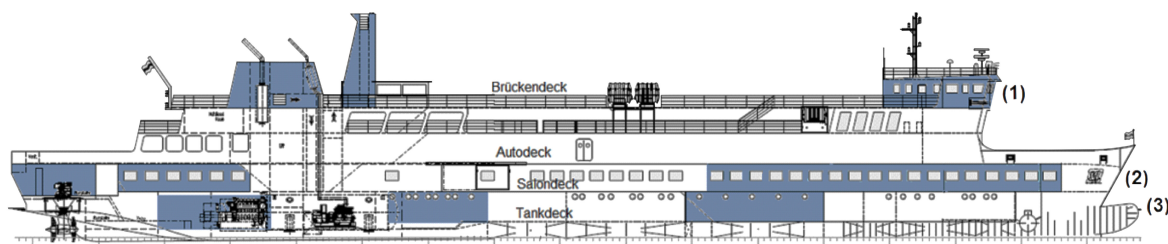


Figure 12:
Acoustically measured areas on board of the MS "Ostfriesland".⁴

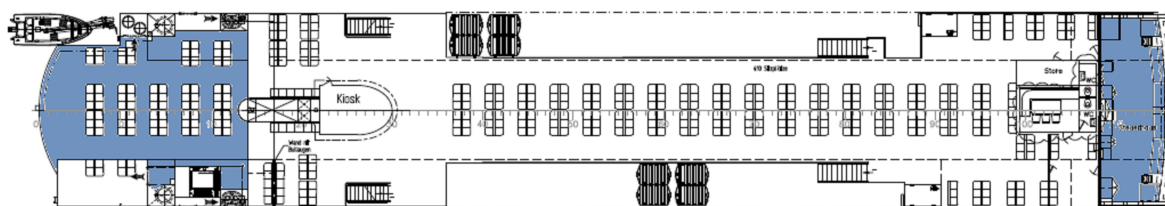


Figure 13:
Bridge deck (1)⁴.

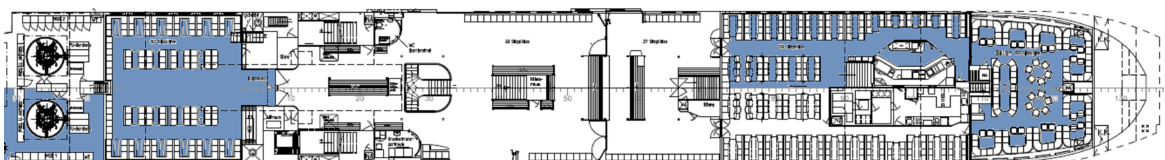
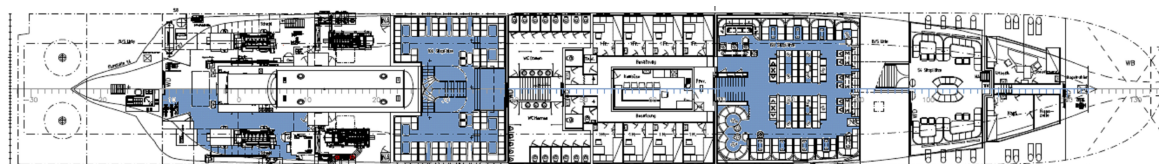


Figure 14:
Saloon deck (2)⁴.

² Germanischer Lloyd Aktiengesellschaft. 2009. Rules for classification and construction. I Ship technology: ch. 23, p. 1.

³ Prof. Dr. Jürgen Göken gratefully acknowledges the financial support of the German Research Foundation (DFG, www.dfg.de; DFG-reference number: INST 21572/1-1 LAGG).



In the following section, an example of the measurements resulting from the spiral microphone array and another example of the measurements using the Microflow™ probe in the engine room are shown.

RESULTS AND DISCUSSION

Besides the importance of each of the colour-coded acoustic measurement results, using the spiral microphone array in each room on board, for the evaluation of the current ship acoustics a comparison between the situation before and after the reconstruction was of high interest. In order to ensure a direct comparison of the ship acoustics before and after the reconstruction, the same measuring conditions have to be met. This was only possible on board the „Ostfriesland“ on the saloon deck in the aft saloon. There were no present passengers during the measurements neither before nor after the reconstruction, which allowed a direct comparison measurement in that room. An example of the comparison measurements is shown in Figure 16. The measurements after the conversion were evaluated with a software update, which leads to differences in the representation. It must also be considered that the saloon in its old form no longer exists and has been completely rebuilt and redesigned.

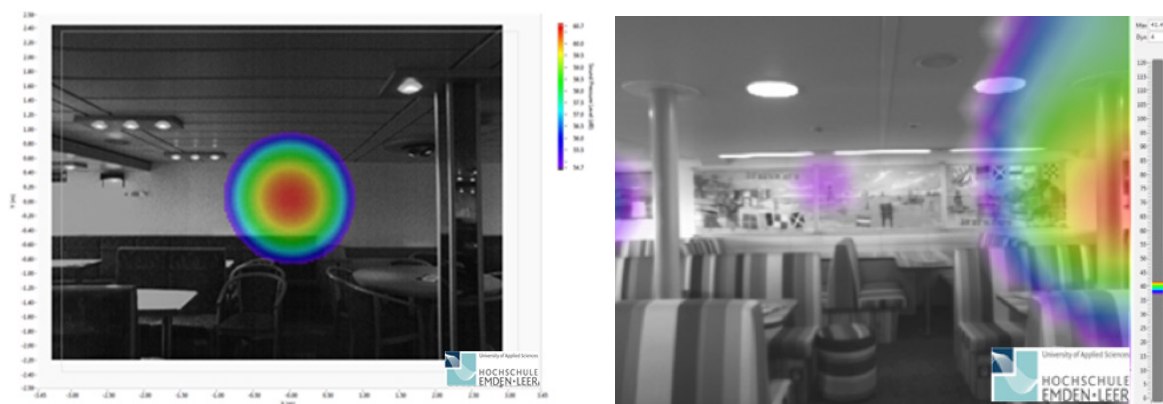


Figure 16:

Colour-coded acoustic measurement in the rear saloon before (left) and after (right) the reconstruction in the same frequency range. Before the reconstruction, a punctual sound source of 60.7 dB(A) was located at the rear wall at a measurement range of 1500 Hz and 1750 Hz. In the same frequency range, the new measurement shows a sound source at 41.4 dB(A) on the right edge of the resulting picture and no longer on the rear wall. The depicted right column was not yet available before the ship's reconstruction, which significantly changes the acoustics of the room. Further measurements within the frequency range of 4750 Hz - 5000 Hz show that the punctual sound source of 54.3 dB(A) is still visible at the rear wall before the reconstruction. The new measurement also exhibit a sound source at the same frequency range on the rear wall, as well as a further, more intense sound source at a table with max. 24.8 dB(A) in the left edge of the resulting picture. Likewise, smaller sound sources can be seen on the ceiling (partially through possible reflection) and on the left column. The performed measurements show that the ship acoustics in this room have been significantly improved by 19.3 dB(A).

The colour-coded measurements that were performed with the help of the Microflow™ probe in the engine/rudder engine rooms are described in detail in Ref. [9]. An example (measurement 1) is constituted in Figure 18. The accurate positions of this and further measurements are shown in

⁴ AG „Ems“ (2013), www.ag-ems.de

Figure 17.

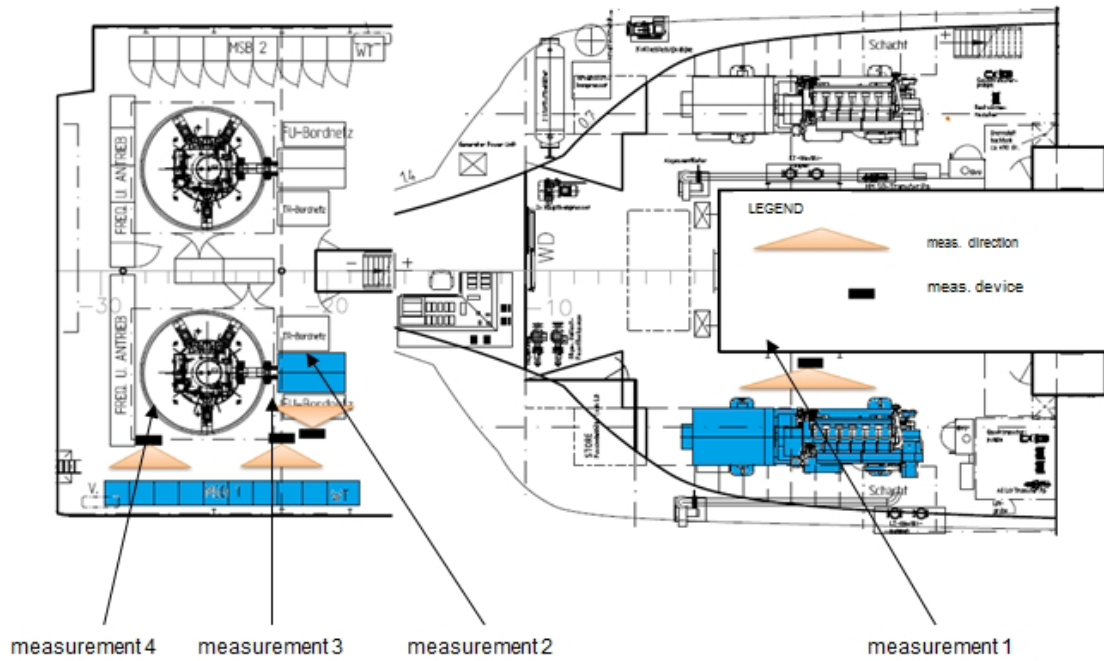


Figure 17:
Measuring points in the engine and in the rudder engine room (Microflow™ probe).

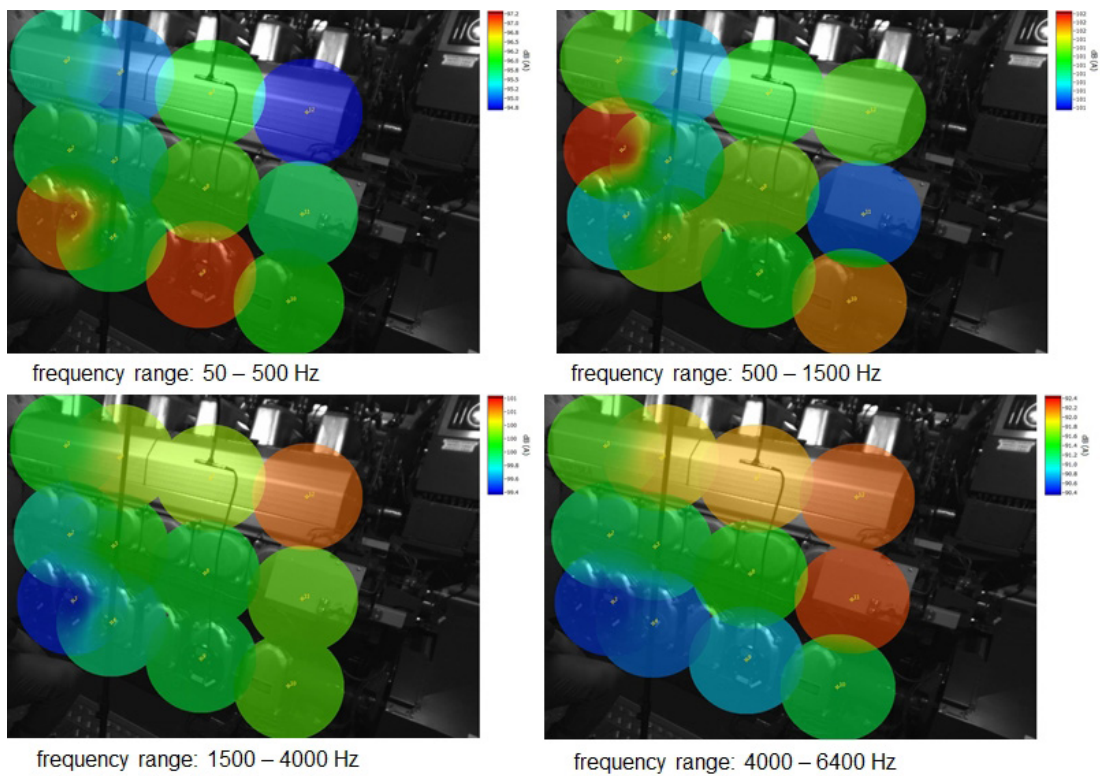


Figure 18:
Colour-coded measurement results (measurement 1, see Figure 17).
Measurements performed with the help of the Microflow™ probe in the engine/rudder engine rooms.

CONCLUSIONS

The investigations reveal that the extension of the ship, the redesign of the aft ship and the complete interior has practically developed a new ship from the vessel built in 1985. There are differences in maneuverability, loading capacity and drive performance. The powerful dual-fuel engines now operate at higher speeds than their predecessors. This has changed the ship's acoustics of the vessel especially in the engine room.

The measurements with the acoustic camera with spiral array, the Microflow™ probe and the sound level meter have reproduced the ship's acoustics under the current conditions. These conditions mainly include the present passengers on the crossings, which had a great influence on the results of the test. Nevertheless, in many areas of the ship constant frequency sound sources could be clearly located and assigned to the ship.

In order to be able to apply an accurate comparison, the same conditions inside the rooms must be met. This turned out to be extremely difficult, since except for a few exceptions, large structural changes took place in most of the ship's sections, or the ship saloons have been completely renovated. Therefore, besides the huge useful processed data from the different applied measurements, a limited direct comparison could be performed. After extensive evaluation, the latest measurements were successful, since they prove that the reconstruction of the MS „Ostfriesland“ has led to considerable changes in ship acoustics.

4. STUDYING THE CORRELATION BETWEEN MOISTURE CONTENT AND DAMPING PROPERTIES OF SPRUCE WOOD

Wood is an inhomogeneous, anisotropic, porous and hygroscopic material of biological origin [10]. It is a natural construction material that has many advantages over other materials: High strength with good elasticity, high resistance against high load levels, corrosion resistance in saline water, good workability, low costs and its outstanding environmental friendliness [11]. One of the most important tone woods is spruce because of its good resonance properties; therefore it is widely used in the musical-instrument making, for examples for building sound boards that are the primary sound sources in pianos. However, the fluctuation of the moisture content in the wood affects the tone. With changing moisture content the instrument can go out of tune and at very low moisture content even cracks can appear in the wood. In addition the timbre will change. This can result from changes in the hammer felt, or in the changed vibration properties of the soundboard. Strain- and frequency-dependent damping measurements on spruce wood were carried out at different wood moisture content with the help of dynamic mechanical analysis (DMA), in order to investigate the moisture effect on the vibration behaviour. Preferably, wood slowly dried in air for several years is used for high-class pianos. Therefore, damping measurements on new and more than 130-year old spruce wood samples were performed. This report section concerns current investigations where further analysis of the results is performed to achieve the final assessment.

EXPERIMENTAL DETAILS

For this investigation, different aged spruce samples with the dimensions of about 80 x 10 x 1 mm³ have been used. The moisture content of the samples has been primarily raised by subjecting two samples of the same type to steam for one hour until they reach a moisture content (MC) of about 45 %. One of those samples was left to dry in the air at room temperature, while its decreasing moisture content had been continuously measured at 30 seconds intervals with the help of a wood moisture meter with an accuracy of approximately ± 1 % in the moisture range from 8 % to about 40 %. The other moist sample was clamped in a dual cantilever sample holder, in which the sample is clamped at both ends and in the middle where it is subjected to bending load. The sample holder is mounted in the dynamic mechanical analyser EPLEXOR® 500N. DMA machines work under the concept of applying a force to a material and analysing the material's response to that force (a non-resonance method). The force used in this case is sinusoidal and can be oscillated at a range of frequencies, typically 0.1 Hz - 200 Hz, and across a range of temperatures, typically -150 °C – 600 °C. From analysing this response, the DMA can calculate various properties from the recorded dynamic modulus E^* [12]. Cantilever fixtures are similar to 3-point bending fixtures except that the ends and the middle of a sample are clamped. This introduces a shearing component

to the distortion and increases the stress required for a set displacement. Therefore, the specimen must be loaded with the clamps perpendicular to the long axis of the sample and in addition, care must be taken to clamp the specimen evenly, with similar forces, and to not introduce a twisting or distortion in clamping [13]. A schematic layout of the dynamic mechanical analyser is shown in Figure 19.

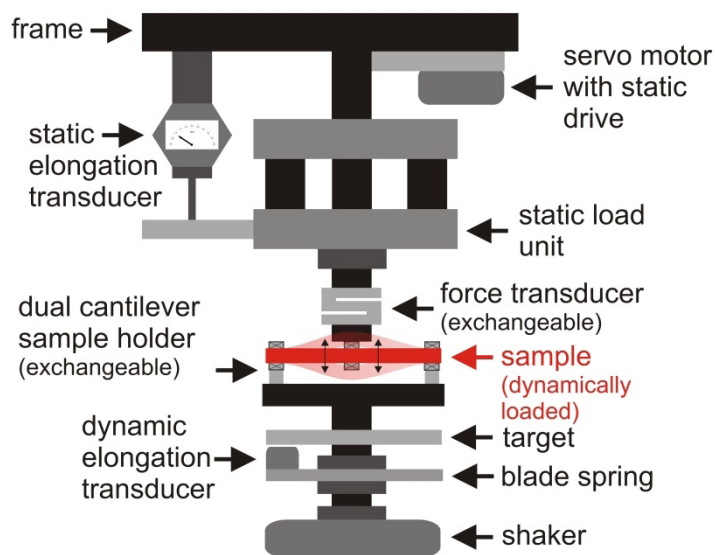


Figure 19:
Schematic layout of the dynamic mechanical analyser
(DMA, EPLEXOR® 500 N), based on Ref. [14].

7 successive measurements had been first applied on dry old and new spruce (moisture content ~ 8 %). These measurements included 5 strain-dependent measurements (dynamic sweeps) at frequencies of 12, 22, 33, 35, and 75 Hz respectively, then a frequency-dependent measurement (frequency sweep) at a dynamic strain of 50 % of sample height, and subsequently, a repetition of the first dynamic sweep at 12 Hz. A total of 162 successive measurements were applied on each of the moist spruce samples (new and old spruce). This included 27 measurement sets that started automatically after each other, where each set involved 5 strain-dependent and 1 frequency-dependent measurements. The strain-dependent measurements were carried out within a range of 0.3 to 50 % dynamic strain with an increment of 0.5 %, dynamic load of 499 N, static load of 1 N, and a contact force of 1 N. The frequency-dependent measurements were carried out within a range of 0.3 to about 70 Hz with an increment of 10 Hz, a static load of 1 N (maximum strain: 1 % of sample height), a dynamic load of 499 N (maximum strain: 50 % of height), and a contact force of 1 N. The moisture content of the clamped sample dropped gradually from approx. 45 % to reach a moisture content of approx. 10.9 % and 10.4 % at the end of the measurements series on new and old spruce, respectively.

RESULTS AND DISCUSSION

⁵ Prof. Dr. Jürgen Göken gratefully acknowledges the financial support of the German Research Foundation (DFG, www.dfg.de; DFG-reference number: INST 21572/5-1 FUGG).

The dropping moisture content values that had been simultaneously measured on reference old and new spruce (Figure 20) and were analysed using a self-written LabVIEW™ program. The derivative curves of the raw data moisture content (in %) vs. time (in sec) curves were calculated, and the resulting curves were smoothed using moving averaging, Figure 21. These curves were determined for the investigation of the different rate of changes of the moisture content in old and new spruce. This was followed by a consecutive study of the water distribution behaviour inside old and new spruce wood with the help of microscopic analysis. After applying predefined constraints, the derivative curves (velocity of moisture change) were conditioned, to be used for the specific definition of different phases of considerable rates of change of moisture content. A corresponding DMA measurement set had been defined for each of those phases, and was investigated.

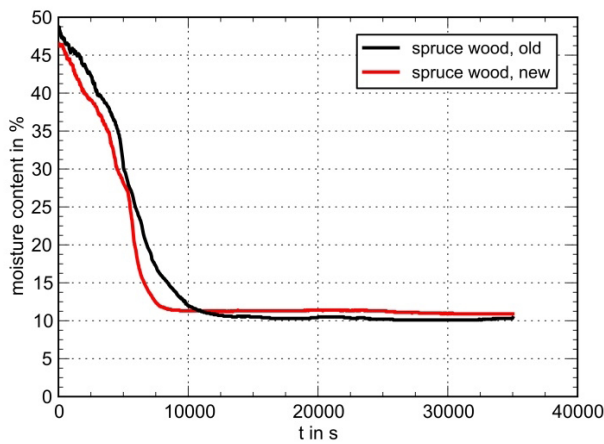


Figure 20:
Drying curves of old and new spruce wood.

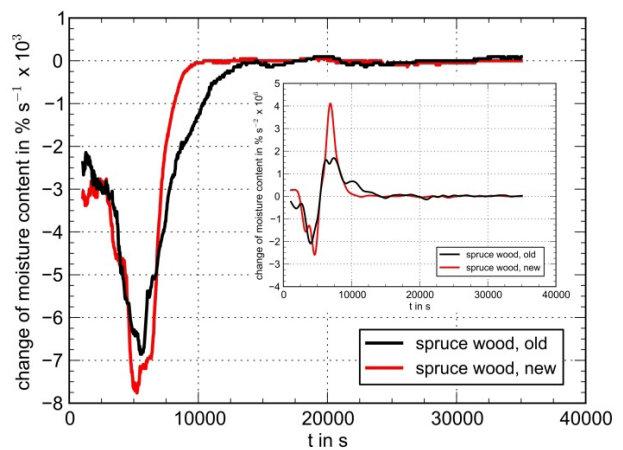


Figure 21:
Drying velocity curves of old and new spruce wood;
inserted figure: Smoothed drying acceleration curves

The following figures present four examples of the resulting plots from the DMA measurements. The plots in Figure 22 show the relationship between the material damping which is represented by the loss factor $\tan \delta$ and the strain (% of sample height; denoted here as deflection strain) in case of old and new spruce. The plots in Figure 23 demonstrate the relationship between $\tan \delta$ and the frequency (in Hz) of the sinusoidal signal of the applied dynamic force for both kinds of spruce in as-received state. The greater the time shift Δt between the signal force and sample distortion, the greater the loss factor $\tan \delta$ and the loss modulus E'' in the result.

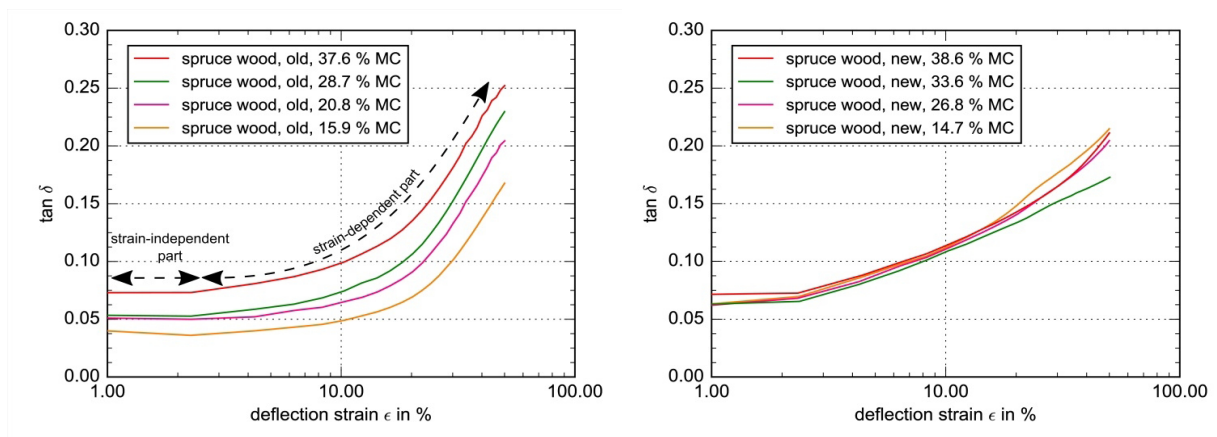


Figure 22:
Strain-dependent damping curves of old spruce wood (left figure) and new spruce (right figure) at a constant frequency of 12 Hz and variable wood moisture content (MC).

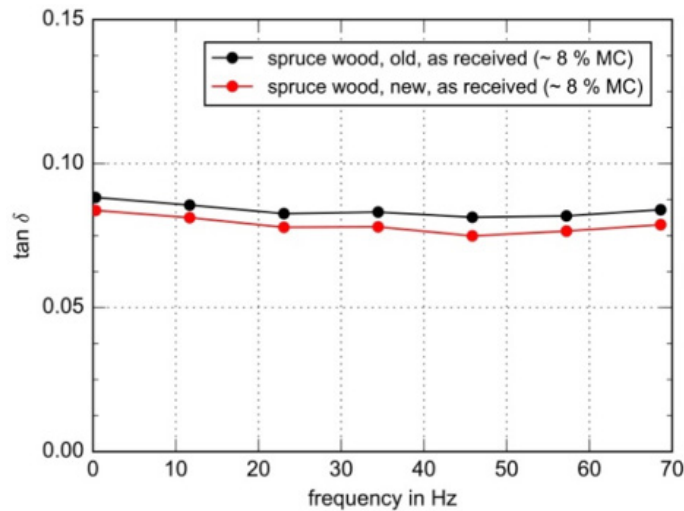


Figure 23: Frequency-dependent damping curves of old and new spruce wood at a moisture content of nearly 8 % and a deflection strain ϵ of 50 % of the specimen thickness.

CURRENT CONCLUSIONS

The drying curves of 130-years old and new spruce wood were different. Furthermore, the rate of moisture release (velocity of moisture change) were different, too, from which it may be assumed that the drying mechanisms of both woods are diverse. Damping measurements on old and new spruce wood showed that the material damping which was indicated in terms of the loss factor $\tan \delta$ was almost frequency-independent over a frequency range of 0.3 to about 70 Hz but revealed a significant dependence on the strain. The measuring curves could be divided into a strain-independent and a strain-dependent part which is well known for metals when dislocation segments break away from pinning points. In contrast to the frequency, the moisture content had a significant influence on the damping behaviour of the old spruce wood. This may be attributed to the wood structure containing chemically degraded biopolymers. Further investigations are necessary to understand the correlation between wood moisture and the damping behaviour of the different aged spruce woods.

REFERENCES

- [1] G. Srinivasu, Y. Natraj, A. Bhattacharjee, T. Nady and G. Nageswara Rao, *Mater. Des.*, no. 47, p. 323, 2013.
- [2] M. Jackson, N. Jones, D. Dye and R. Dashwood, *Mater. Sci. Eng. A*, no. 501, p. 248, 2009.
- [3] J. Göken, S. Fayed and P. Skubisz, *Acta. Phys. Pol. A*, vol. 130, p. 1352, 2016.
- [4] W. Riehemann, *Metallic Materials with Extreme Internal Friction and their Measurement*, Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger Verlag, 1996.
- [5] J. Göken and W. Riehemann, *Mater. Sci. Eng. A*, no. 127, p. 324, 2002.
- [6] J. S. Koehler, in *Imperfections in nearly perfect crystals*, New York, Wiley, 1952, pp. 197-216.
- [7] A. V. Granato and K. Lücker, *J. Appl. Phys.*, vol. 27, no. 6, p. 583, 1956.
- [8] P. Bleasdale and D. Bacon, in *Proceedings of the Third European Conf.*, Ed. C.C. Smith, Oxford, Pergamon Press, 1980, p. 173.
- [9] R. Eckert, *Acoustic measurements on board M/V „Ostfriesland“* (bachelor thesis), University of Applied Sciences Emden/Leer, Faculty of Maritime Studies: Leer, Germany, 2017.
- [10] N. Okoye, A. Eboatu, R. Arinze, N. Umedum and O. P.I. Udeozo, *IOSR-JAC*, vol. 7, no. 6, p. 76, 2014.
- [11] R. Falk, "General Technical Report FPL-GTR-190," in *Wood Handbook - Wood as an Engineering Material* (chapter 1), Madison, WI, USA, 2010.
- [12] A. Rasa, in *Proc. of the 43rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering - Improving the World through Noise Control (Internoise 2014)*, Melbourne, Australia, 2014, p. 4278.
- [13] K. P. Menard, *Dynamic mechanical analysis: a practical introduction*, U.S.A: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2008.
- [14] "Netzsch Gabo Instruments GmbH," [Online]. Available: <http://www.gabo.com>. [Accessed 29 December 2016].



ULTRASCHALL ZUR IN-SITU-REINIGUNG VON MEMBRANEN IN MEMBRANBIOREAKTOREN (MBR) AN BORD VON SCHIFFEN – UNTERSUCHUNG ZU DEN AUSWIRKUNGEN AUF AKTIVITÄT UND STRUKTUR DES BELEBTSCHLAMMES

Autoren: Dr. Hauke Buse, Dorte Knoop (M.Sc.)

ZUSAMMENFASSUNG

Membranbioreaktoren (MBR) bringen viele Vorteile für die maritime Abwasserbehandlung mit sich. Die Reinigung der Membran ist jedoch aufwändig.

Im Rahmen einer Bachelor- und einer Masterarbeit [JANßEN 2014; KNOOP 2016] wurde die Möglichkeit der in-situ-Reinigung der Membran mit Ultraschall getestet, da dieses Verfahren den MBR-Betrieb an Bord wesentlich erleichtern würde: die Membran bleibt während der Reinigung im Belebtschlamm getaucht und es stören keine schädlichen Reinigungschemikalien die Biologie der Anlage.

Die Versuchsreihen bezogen sich nicht nur auf die Reinigungsleistung, die durch den Ultraschalleintrag erzielt werden kann, sondern auch auf die Auswirkungen, die eine Beschallung auf Struktur und Aktivität des Belebtschlammes haben könnte.

Die Reinigungswirkung des Ultraschall konnte nachgewiesen werden. Die Aktivität des Belebtschlammes wurde bis zu einer Beschallungsdauer von 15 Minuten nicht signifikant gemindert.

Aber die Struktur des Belebtschlammes wurde mit zunehmender Dauer der Beschallung immer weiter aufgebrochen. Dieser Effekt könnte negative Auswirkungen auf die Verblockungsprozesse an der Membran haben. Es ergaben sich somit Fragen, die in zukünftigen Arbeiten zu klären sind.

ABSTRACT

The use of Membrane Biological Reactors (MBR) for wastewater treatment is advantageous for shipboard operations. But cleaning of the membranes though is laborious.

Within the scope of a Bachelor- and a Masterthesis [Janßen 2014; Knoop 2016] an in-situ-cleaning-technique using ultrasound was tested. This is because this technique would significantly simplify MBR-operation on board, as the membrane stays in place – submerged in the activated sludge – during the cleaning-process. The negative effect of chemicals on the biology would be avoided.

During the tests not only the cleaning ability of the sonication was tested but also its effect on the biological activity of the activated sludge and on its structure.

A cleaning-effect of ultrasound could clearly be documented. Effects on the activity of the microorganisms could be rated “not significant” up to 15 minutes of sonification.

But with duration of sonication the structure of the sludge seemed to disintegrate. This effect might unfortunately speed up blocking and fouling processes on the membrane. Questions arose, which should be clarified in future investigations.

MARITIME ABWASSERREINIGUNG

Es befinden sich weltweit 1 - 1,3 Mio. Menschen auf Schiffen, deren Abwässer auf See anfallen und entsorgt werden müssen [ACKERMANN/MEIER-PETER 2012]. Die maritimen Abwasserreinigungsverfahren sind zumeist denen an Land entlehnt und nicht für die Anwendung an Bord optimiert. Die Rahmenbedingungen für die Abwasserbehandlung an Bord von Seeschiffen unterscheidet sich aber in den folgenden Punkten von der an Land:

- das Puffervermögen einer großvolumigen Kanalisation fehlt; Durchflussschwankungen und Frachtspitzen können nicht immer ausgeglichen werden und wirken sich somit stark auf das System aus, [KERSCHEK/WÖLFEL/FINNER 2003],
- die Schiffsbewegungen und die Vibrationen der Hauptmaschine erschweren das Absetzen der Feststoffe und damit die Fest-Flüssig-Trennung [KERSCHEK/WÖLFEL/FINNER 2003]; die geforderten Ablaufwerte für organische Stoffe können dann nicht eingehalten werden,
- die Versorgung (z.B. für die Anlieferung von Reinigungschemikalien oder die Entsorgung von Überschussschlamm) gestaltet sich in manchen Häfen schwierig.

Abwasserbehandlungsanlagen für Schiffe müssen geprüft werden und abgenommen sein. Die internationalen Standards werden von der Internationalen Schifffahrtsorganisation (IMO) vorgegeben und immer wieder angepasst. Ab dem 1. Juni 2019 werden damit z.B. erstmals Einleitgrenzwerte für die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor vorgeschrieben (für Abwasser von Passagierschiffen in dem Sondergebiet Ostsee). [MEPC.200(62); MEPC.227(64)]

Strengere Einleitgrenzwerte fordern aufwendigere Verfahren zur Abwasserreinigung [CHEN, W. 2013; KOBOVIC/KOMADINA/KURTELA 2011]. Einige MBR – Anlagen sind bereits für den Schiffsbetrieb zugelassen [GISIS].

MEMBRANBIOREAKTOREN IM SCHIFFSBETRIEB

„Der Begriff Membranbioreaktor (MBR) bezeichnet alle Wasser- und Abwasserbehandlungsprozesse, die eine selektiv permeable Membran in einen biologischen Prozess integrieren.“ [JUDD/JUDD 2011]

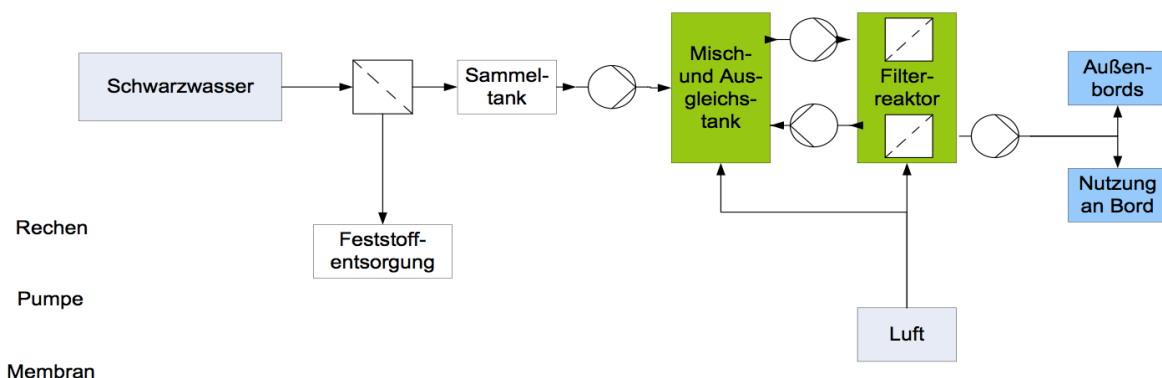


Abbildung 1:
Schematische Darstellung eines MBR für die Schwarzwasserbehandlung an Bord eines Schiffes

Abwasser wird bei MBR-Anlagen, wie bei anderen Abwasserreinigungsanlagen auch, zunächst von Feststoffen gereinigt. Ein 2 mm-Rechen hat sich hier bewährt, um Verstopfungen zu vermeiden [JUDD/JUDD 2011]. Es folgt meist ein Sammelbehälter, von dem aus das Abwasser dem belüfteten Misch- und Ausgleichstank zufließt. Die letzte Stufe ist die Filtration des Abwassers durch die Membranmodule im Filterreaktor.

MBR-Anlagen bringen für die maritime Anwendung verfahrenstechnische Vorteile mit sich:

- Sie weisen im Vergleich zu ausschließlichen Belebungsanlagen geringere Reaktorvolumina auf [PINNEKAMP/FRIEDRICH 2006],
- sie können einen vollständigen Feststoffrückhalt gewährleisten und erlauben es, auf ein separates Nachklärbecken zu verzichten [PINNEKAMP/FRIEDRICH 2006],
- das sehr reine Permeat als Reststoff kann ohne weitere Behandlung außerbords gegeben werden [PINNEKAMP/ FRIEDRICH 2006] oder sogar an Bord genutzt werden (z.B. für die Toilettenspülung).

Ein Nachteil ist die Notwendigkeit der regelmäßigen Membranreinigung, da die nur wenige Nanometer großen Poren der Membran im Laufe der Filtration verblocken. Es ist Stand der Technik, solche Membranverblockungen mit der sogenannten cleaning-in-place-Methode (CIP-Methode) zu behandeln. Dabei werden chemische Reinigungsmittel in-situ verwendet [HAI 2014]. Durch diese Art der Reinigung ergeben sich im Bereich der Schifffahrt Probleme:

- Die Reinigungslösungen müssen an Bord mitgeführt werden, da sie nicht überall verfügbar sind, sie müssen außerdem nach Gebrauch in Häfen entsorgt werden,
- die Reinigungslösungen können die Mikroorganismen im Belebtschlamm schädigen und damit die Reinigungsleistung der Anlage reduzieren oder zu anderen Problem wie z.B. Schaumbildung führen [HAI 2014, WANG ET AL. 2014],
- die Bildung von Chlor aus der Reinigungschemikalie Natriumhypochlorit kann sich negativ auf das Membranmaterial auswirken [YOON, 2016].

Eine in-situ-Reinigung, die bei der im Belebtschlamm getauchten Membran ohne Unterbrechung der Filtration durchgeführt werden könnte und ohne Reinigungschemikalien auskäme, wäre eine große Erleichterung für den Betrieb von MBR-Anlagen an Bord von Schiffen. Daher bietet sich die Ultraschallreinigung als Alternative zur chemischen Reinigung an.

Im Rahmen einer Masterarbeit¹ wurde untersucht, ob die Reinigung von Ultrafiltrationsmembranen mittels Ultraschall beim Betrieb von MBR an Bord von Schiffen tatsächlich eine geeignete Alternative sein kann.

ULTRASCHALL STELLT EINE MÖGLICHKEIT ZUR MEMBRANREINIGUNG DAR

Das Wort „Ultraschall“ bezeichnet denjenigen Bereich akustischer Erscheinungen, der höhere Frequenzen aufweist als jener, der von Menschen wahrgenommen wird. Im Allgemeinen spricht man bei Schallfrequenzen über 20 kHz von Ultraschall. [MEYER/NEUMANN 1979]

Die Reinigungswirkung des Ultraschalls in flüssigen Medien wird vor allem auf die akustische Kavitation – also die Hohlraumbildung in Flüssigkeiten durch Ultraschalleintrag – zurückgeführt [LERCH/SESSLER/WOLF 2009]. Sie entsteht dadurch, dass im Ultraschallfeld mikroskopisch kleine Gasbläschen in der Flüssigkeit in Schwingungen versetzt werden. Der Blasenradius vergrößert sich in Unterdruckphasen, in Überdruckphase verkleinert er sich wieder. Im Laufe vieler solcher aufeinanderfolgender Perioden jedoch wachsen die Bläschen durch den Prozess der gleichgerichteten Diffusion an [LERCH/SESSLER/WOLF 2009]. Diese Oszillation führt schließlich zu so großen Radien, dass der Blasen kollaps verursacht wird [LAUTERBORN 1997; MEYER/NEUMANN 1979].

Bei einem Blasen kollaps treten lokal sehr hohe Drücke, Temperaturen und Strömungsgeschwindigkeiten auf [LERCH/ SESSLER/WOLF 2009]. Findet dieser Kollaps in der Nähe fester Grenzflächen statt, kann es zur Ausbildung von Mikrojets kommen. Durch die Blase hindurch entwickelt sich dann ein auf die Oberfläche gerichteter sehr schneller Flüssigkeitsstrahl, ein sog. Mikrojet mit bis zu 400 km/s [LERCH/SESSLER/WOLF 2009]. Die Verschmutzungen auf der Oberfläche werden durch diesen quasi abgesprengt.

¹Die Masterarbeit wurde durch die TU Braunschweig betreut. Die Bearbeitung der Fragestellung fand in Kooperation mit der Hochschule Emden/Leer und ThyssenKrupp Marine Systems statt.

VERSUCHSAUFBAU UND TESTREIHEN

Untersucht wurde im Sommer 2015 ein in-situ-Reinigungsverfahren für Ultrafiltrations-Membranen in MBR-Anlagen für die maritime Anwendung. Dafür wurde ein Versuchsstand genutzt, der im Rahmen einer Bachelor-Arbeit [JANßEN 2014] entwickelt und aufgebaut worden war. Dieser stellt den Filterreaktor einer sol-chen Anlage (siehe Abb. 1) im kleinen Maßstab dar. In der Abbildung 2 ist ein Teil des Versuchsstandes zu sehen und zwar der Flüssigkeitstank mit einem Fassungsvermögen von 300 l (hier gefüllt mit Belebtschlamm – links unten), der obere Ultraschall-tauchschwinger (Mitte, Vordergrund) und die Permeatrückführung (gelber Schlauch). In dem Becherglas ist das Permeat, das gereinigte Medium, zu sehen.



Abbildung 2:
Verwendeter Versuchsreaktor

Die Versuche zu dieser Arbeit wurden in einer Werkhalle der Hochschule Emden/Leer in Emden durchgeführt. Hier stand der genutzte Versuchsstand mit Membrannodul, Pumpe und Messeinrichtungen und hier fand auch die Beschallung des Belebtschlammes statt. Frischer Belebtschlamm wurde von den Kläranlagen in Emden und in Marienhäfe bezogen.

VERBLOCKUNG UND REINIGUNG DER MEMBRAN

Zur Dokumentation der Änderung der Membranpermeabilität wurden während des gesamten Zeitraumes der Verblockungsvorgänge und der Reinigungsphasen Durchfluss und Transmembrandruck aufgezeichnet.

Für den Nachweis der erfolgten Membranreinigung musste zu Anfang der mehrere Monate andauernden Versuchsreihen erst eine erkennbare Verlockung der Membran hervorgerufen werden. Dies geschah durch Filtration des Belebtschlammes. Das Permeat wurde in dieser Phase der Versuche in den Versuchstank zurückgeführt; der Belebtschlamm wurde regelmäßig ausgetauscht.

Die Wirkung der Beschallung wurde für unterschiedliche Anwendungen getestet: mit unterschiedlicher Dauer und Intensität, bei gestoppter Filtration und während des Filtrierbetriebs, als semikontinuierliche Beschallung und im Zusammenspiel mit anderen mechanischen Reinigungsmethoden (Luftüberströmung). Bei der semikontinuierlichen Anwendung ließen sich die besten Reinigungsergebnisse dokumentieren [SCHIFF & HAFEN 05/2016].

AUSWIRKUNGEN AUF DIE BELEBTSCHLAMMAKTIVITÄT

Nachdem der Nachweis der Reinigungswirkung erbracht war, sollte ermittelt werden, ob durch die Beschallung mit negativen Auswirkungen auf die Aktivität und damit auf die Reinigungsleistung des Belebtschlammes zu rechnen ist, die der in-situ-Anwendung entgegen stehen würde.

Die Testreihen, die Aufschluss geben sollten über die Auswirkungen auf den Belebtschlamm, wurden jeweils an frischem Belebtschlamm durchgeführt. Anhand der BSB⁵²-Messung, die eine Aussage über die Abbauleistung der Bakterien im Belebtschlamm gibt, wurde die Aktivität des unbeschallten und des – über unterschiedliche Zeiträume – beschallten Belebtschlammes bestimmt. Das Ergebnis: sogar nach mehrminütiger Beschallung (bis zu 15 Minuten mit einer Frequenz von 67 kHz und einer Gesamtleistung von 1200 W) ist die Schlammaktivität des beschallten Schlammes fast identisch mit der des unbeschallten (Abb. 3), d.h. es wurde keine gravierende oder nachhaltige Minderung der Schlammaktivität festgestellt.

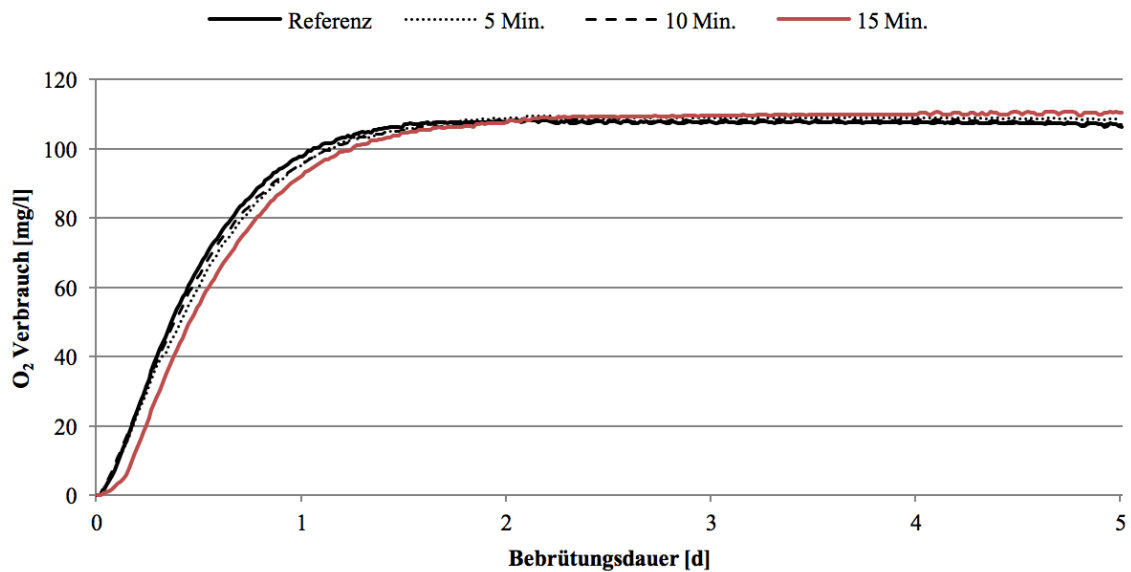


Abbildung 3:
Atmungsaktivität nach 0, 5, 10, 15 Minuten Beschallung

Nach 15-minütiger Beschallung ist ein flacherer Anstieg des Sauerstoffverbrauchs und – interessanterweise – ein höherer Endwert zu erkennen. Die verbesserte Abbauleistung kann möglicherweise auf eine Aufspaltung der Belebtschlammflocken und damit eine bessere Substratversorgung der Mikroorganismen zurückgeführt werden [Banduch 2011].

Allerdings konnte im Rahmen der Arbeit keine Aussage über die Regenerierbarkeit des Schlammes bei noch längeren Beschallungsdauern und auch nicht über den möglichen Einfluss einer dauerhaften semikontinuierlichen Beschallung gemacht werden.

² biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen [mg/l]

AUSWIRKUNGEN AUF DIE BELEBTSCHLAMMSTRUKTUR

Unterschiedliche Beobachtungen wiesen darauf hin, dass der Ultraschalleinträge zu einem Aufbrechen der Belebtschlammflocken führt, so die Beobachtung, dass die Trübung des Überstands mit der Beschallungsdauer im Versuchsverlauf zunimmt (siehe Abb. 4).

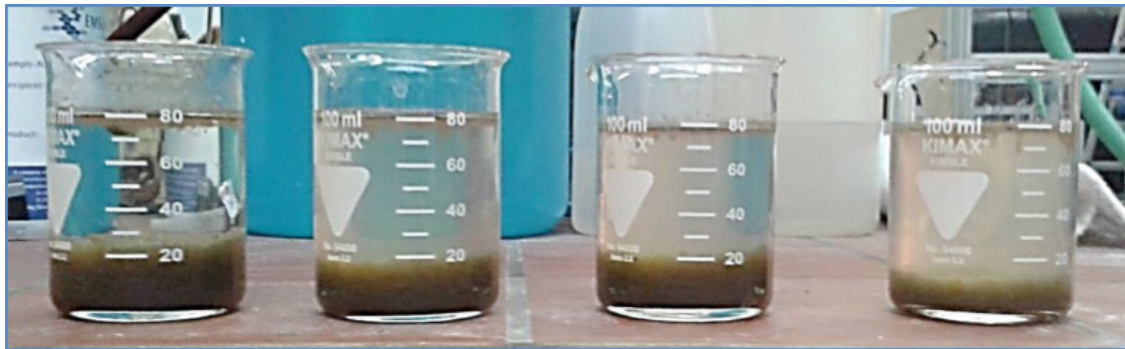


Abbildung 4:
Trübung und absetzbare Feststoffe vor und nach Beschallung -
von links: abgesetzter Schlamm nach 0, 15, 30 und 60

Die Auswirkungen auf die Struktur des Schlammes wurden mit einem Partikel-sizer ermittelt. In Abb. 5 wird der Anteil an Partikeln, die kleiner als 10 μm sind, für unterschiedliche Beschallungsdauern dargestellt, da gerade dieser Partikelgröße die Bildung besonders kompakter Deckschichten zugeschrieben wird [HAI 2014]. Ihr Anteil nimmt mit der Beschallungsdauer zu.

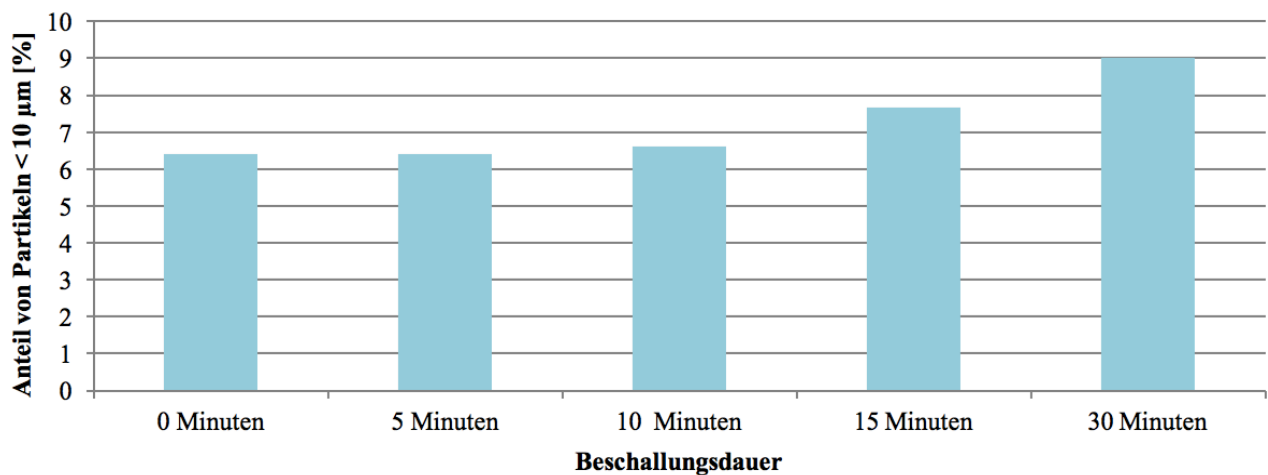


Abbildung 5:
Anteil an Partikeln < 10 μm

FAZIT

Neben dem Nachweis der Reinigungsleistung konnte also festgestellt werden, dass sich die Beschallung des Schlammes nicht negativ auf seine Abbauleistung auswirkt, der Abbau von Nährstoffen im Gegenteil eher noch verbessert wird.

Diesen positiven Aspekten steht eine deutlich veränderte Schlammstruktur des beschallten Schlammes gegenüber, welche zu getrübbtem Permeat führt.

Besonders kritisch ist der Anstieg des Anteils kleiner Partikel im Schlamm zu sehen, da diese zügig zu einer starken und hartnäckigen Verblockung der Membran, und zwar innerhalb der Membranporen, führen. Verunreinigungen in den Poren sind durch Ultraschalleintrag kaum zu lösen. [KYLLÖNEN 2005; WENT 2011] Erhöhte Ablaufwerte sind dann nicht auszuschließen.

AUSBLICK

Die in-situ-Anwendung der ultraschallgestützten Membranreinigung erleichtert und verbessert die Membranreinigung in MBR. Für die Schifffahrt ergeben sich dadurch erhebliche Vorteile:

- die Integration der Tauchschwinger in den Filtriertank erlaubt die problemlose in-situ-Anwendung,
- es werden keine zusätzlichen Betriebsmittel benötigt, die Methode kann reststofffrei und damit umweltfreundlich betrieben werden,
- der Bedarf an Reinigungschemikalien kann reduziert werden, die Problematik ihrer Beschaffung, ihrer Lagerung an Bord und ihrer Entsorgung wird damit ebenfalls reduziert,
- im Vergleich zur CIP Reinigung bringt die Ultraschallanwendung durch die Schonung der Biologie eine erhebliche Verbesserung mit sich und
- negative Auswirkungen des Chlors auf die Membranintegrität können vermieden werden.

Fragestellungen, die im Rahmen von zukünftigen Langzeituntersuchungen und Untersuchungen die an Bord bearbeitet werden sollten, sind:

- In wie weit wirken sich die geänderten Schlammeigenschaften auf Verblockungserscheinungen an der Membran aus? Wie entwickelt sich das Fouling?
- Hat die dauerhaft angewandte semikontinuierliche Beschallung der Membran negative Einflüsse auf ihre Integrität? Wird das Membranmaterial geschädigt?
- Wie entwickelt sich die Schlammaktivität bei dauerhafter Anwendung der semikontinuierlichen Beschallung von Anfang an? Gibt es Einbußen in der Reinigungsleistung der Biologie?
- Wie wirkt sich die Desintegration des Schlammes auf die Ablaufwerte aus? Wird die Qualität des Permeats beeinträchtigt?
- In wie weit ist ein solches System für den Bordbetrieb praktikabel? Welche Probleme könnten sich ergeben? Wie muss ein Trainingsprogramm für die Besatzung strukturiert sein?
- Wie wirken sich unterschiedliche Zusammensetzungen von Schiffsabwässern auf die Leistung einer solchen Anlage aus? Wie könnte sie optimal in ein ganzheitliches, weitestgehend autarkes maritimes Wassermanagement integriert werden?

LITERATURVERZEICHNIS

ACKERMANN/MEIER-PETER 2012: Ackermann, Günter; Meier-Peter, Hansheinrich (Hg.): Handbuch Schiffsbetriebstechnik. Betrieb, Überwachung, Instandhaltung. 2. Aufl. Hamburg.

BANDUCH 2011: Banduch, Izabela: Die Wirkung von Ultraschall auf die mikrobiologische Diversität und Abbauleistung eines biologischen Reaktors zur Abwasserreinigung. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg.

CHEN, W. 2013: Chen, Wei: Experience in Nitrogen Removal on Board Ships. In: International Symposium on Treatment of Wastewater and Waste on Ships, 233, S. 14/1 - 14/12.

GISIS: Global Integrated Shipping Information System, Pollution Prevention Equipment. Ap-provals. Online verfügbar unter <http://gisis.imo.org>, zuletzt geprüft am 16. November 2015.

HAI 2014: Hai, Faisal I. (Hg.): Membrane biological reactors. Theory, modeling, design, man-agement and applications to wastewater reuse. London.

JANßEN 2014: Janßen, Thomas: Evaluierung ultraschallgestützter Membranreinigung in Membranbioreaktoren für die schiffsbasierte Abwasseraufbereitung. Hochschule Emden/Leer.

JUDD/JUDD 2011: Judd, Simon; Judd, Claire (Hg.): The MBR book. Principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment. 2. Aufl., Amsterdam, London.

KERSCHEK/WÖLFEL/FINNER 2003: Kerschek, Oliver; Wölfel, Nina; Finner, Manuel: Entwicklung einer Anlagentechnik für die Reinigung von Schiffsabwasser durch die Verfahrenskombination Belebungsbiologie/ Mikrofiltration. Bremen.

KNOOP 2016: Knoop, Dorte: Schiffsbasierte Abwasserbehandlung mit Membranbioreaktoren – Evaluierung der Anwendung von Ultraschall zur Membranreinigung. Technische Universität Braunschweig.

KNOOP/BUSE 2016: Knoop, Dorte; Buse, Hauke: Schiffsbasierte Abwasserbehandlung mit Membranbioreaktoren – Alternative Methode für die Membranreinigung. In: Schiff & Hafen 5/16, S.27-29.

KOBOEVIĆ /KOMADINA/KURTELA 2011: Koboević, Zarko; Komadina, P.; Kurtela, Zeljko: Protection of the Seas from Pollution by Vessel's Sewage with Reference to Legal Regulations. In: Promet – Traffic & Transportation, 23, S. 377–387.

KYLLÖNEN 2005: Kyllönen, Hanna: Electrically or ultrasonically enhanced membrane filtration of wastewater. Dissertation. Lappeenranta Universtiy of Technology, Lappeenranta.

LAUTERBORN 1997: Lauterborn, Werner: Cavitation. In: Encyclopedia of Acoustics, Volume 1. New York.

LERCH/SESSLER/WOLF 2009: Lerch, Reinhard; Sessler, Gerhard; Wolf, Dietrich: Technische Akustik. Grundlagen und Anwendungen. Berlin, Heidelberg.

MEPC.200(62): Amendments to the Annex of the protocol of 1978 relating to the international convention for the prevention of pollution from ships, 1973. Angenommen am 15. Juli 2011.

MEPC.227(64): 2012 Guidelines on implementation of effluent standards and performance tests for sewage treatment plants. Angenommen am 5. Oktober 2012.

MEYER/NEUMANN 1979: Meyer, Erwin; Neumann, Ernst-Georg (Hg.): Physikalische und Technische Akustik. 3. Aufl., Braunschweig, Wiesbaden.

PINNEKAMP/FRIEDRICH 2006: Pinnekamp, Johannes; Friedrich, Harald (Hg.) (2006): Membran-technik für die



UNTERSUCHUNG DER HEUTIGEN SOLAS-REGELN BZGL. DER STABILITÄT UND LECKSICHERHEIT AM BEISPIEL DER TITANIC MIT HILFE VON PARAMARINE

Autoren: Philipp Schmelzer (B.Sc.), Prof. Dr. M. Bentin, Prof. Kap. M. Vahs

EINFÜHRUNG

Die SOLAS-Konvention (safety of life at sea) legt die Schiffssicherheitsvorschriften für Schiffe, die im internationalen Seeverkehr tätig sind, fest¹. Vordergründig wird sie von dem Maritime Safety Committee (MSC) der internationalen maritimen Organisation (IMO) mit Sitz in London ausgearbeitet. Sie unterliegt seit dem Untergang der RMS Titanic 1914 immer wieder Veränderungen und Ergänzungen, die dem kleinsten gemeinsamen Nenner der IMO-Mitgliedsstaaten hinsichtlich ihrer Vorstellungen der Schiffssicherheit entsprechen².

Ein wesentlicher Gesichtspunkt der Konvention sind die Bestimmungen der Intanktstabilität und Lecksicherheit von Seeschiffen (SOLAS II-1). Hier werden Faktoren, Gleichungen und Aussagen definiert, die eine stabile Schwimmag von Schiffen gewährleisten sollen. Ebenso werden Berechnungen angestellt, mit deren Hilfe abgeschätzt werden kann, ob ein Schiff ausreichend in wasserdichte Abteilungen unterteilt ist. Damit soll sichergestellt werden, dass durch Schäden verursachte Flutungen einzelner oder mehrere Abteilungen, das Schiff bis zu einem bestimmten Grad schwimmfähig bleibt.

Darüber hinaus sind durch den SOLAS verbindlich gemachte Codes bei der Untersuchung eines Schiffes zu berücksichtigen. Dazu zählt z.B. im Hinblick auf die Intaktstabilität und den damit verbundenen Eigenschaften der Hebelarmkurve der IS-Code 2008 (Internationale Code über Intaktstabilität von 2008)³.

Um zu verdeutlichen wie die Vorschriften konkret an einem Schiff umgesetzt werden und welche Daten dafür im Vorfeld zu ermitteln sind, wird ein vorhandenes UGNX-Rumpfmodell der Titanic mit Hilfe der Software Paramarine von „QinetiQ Marine Design Software“ auf ihre Vorschriften konformität hin untersucht. Paramarine bietet neben der Möglichkeit hydrostatische Annahmen umzusetzen, den Vorteil, dass die Intaktstabilitäts- und Lecksicherheitsbestimmungen bereits grundsätzlich implementiert sind und dabei eine strukturierte Vorgehensweise aufzeigt.

Dennoch ist zu unterstreichen, dass Paramarine als Hilfsmittel und Bindeglied zwischen Theorie und Praxis genutzt wird. Gerade in Bezug auf die Intaktstabilität sind die von Paramarine ermittelten Daten der aufrichtenden Hebelarme verschiedener Ladefälle Ausgangspunkt für eigene Darstellungen der Hebelarmkurven inklusive der Mindestanforderungen hinsichtlich der Anfangsstabilität und der krängenden Momente.

Auch die von Paramarine vorgenommene Bewertung der Lecksicherheit der Titanic wird mit vorliegender Literatur verglichen und analysiert, um die softwaregestützten Ergebnisse in einem gewissen Maß einordnen zu können.

In einem ersten Schritt werden die charakteristischen Werte der Titanic vorgestellt, die im Verlauf der Thesis zum Tragen kommen. Gerade im Zusammenhang mit der im späteren Verlauf der Thesis anzufertigen Leckrechnung, müssen neben den zur Verfügung stehenden Rettungsbootplätzen auch die Diensttrimmlage feststehen. Diese wird durch eine Mittelwertbildung von aufgenommenen Trimmlagen des Schwesterschiffes RMS Olympic ermittelt.

¹ SOLAS 74 I Regel 1 a)

² <http://www.imo.org/EN/Pages/Default.aspx> (Stand 11.01.2016)

³ SOLAS II-1 Regel 5

INTAKTSTABILITÄT

Zur Untersuchung der Intaktstabilität wird ausgehend vom IS-Code 2008 die „Bekanntmachung über die Anwendung der Stabilitätsvorschriften für Frachtschiffe, Fahrgastschiffe und Sonderfahrzeuge“ der See-Berufsgenossenschaft herangezogen. Diese schreibt bei der Betrachtung der Hebelarmkurven (GZ-Kurven) von Fahrgastschiffen mit über 200 m Länge Bedingungen vor, die bei unterschiedlichen Ladefällen immer erfüllt sein müssen:

- Für die Fläche unterhalb der GZ-Kurve gilt:
 - $\int_0^{30^\circ} GZ(\varphi) d\varphi \geq 0,055m \cdot RAD$
 - $\int_0^{40^\circ} GZ(\varphi) d\varphi \geq 0,09m \cdot RAD$ (ohne Öffnungen im Schiffskörper)
 - $\int_{30^\circ}^{40^\circ} GZ(\varphi) d\varphi \geq 0,03m \cdot RAD$ (ohne Öffnungen im Schiffskörper)
- $GZ \geq 0,40m$ für $\varphi = 30^\circ$
- Wenn möglich, tritt GZ_{max} bei $\varphi = 25^\circ$ auf
- Die metazentrische Anfangshöhe GM' soll mindestens 0,15 m betragen. Bei der Erstellung der Hebelarmkurve kann dieser Wert bei einem RAD ($\varphi = 57,3^\circ$) eingetragen werden. Wird eine Gerade von GM' zum Ursprung gezogen, so tangiert diese die Hebelarmkurve in $GZ(\varphi = 0)$.
- Der Stabilitätsumfang, der den Winkel bezeichnet, bei dem die Hebelarmkurve die Abszisse schneidet, darf nicht kleiner sein als 50° . Liegt dieser zwischen 50° und 60° , so muss der geforderte Wert bei $GZ(\varphi = 30^\circ)$ für jeden Grad unter 60° um 0,01 m vergrößert werden.⁴

Die daraufhin zu überprüfenden Standardladefälle werden im IS-Code vorgehalten und lauten für Fahrgastschiffe wie folgt:

1. voll abgeladenes Schiff vor dem Auslaufen mit vollen Vorräten und Treibstoff und allen Fahrgästen mit ihrem Gepäck
2. voll abgeladenes Schiff bei Ankunft mit allen Fahrgästen und ihrem Gepäck, aber mit nur 10% der Vorräte und Treibstoff verbleibend
3. Schiff ohne Ladung aber mit vollen Vorräten und Treibstoff und allen Fahrgästen mit ihrem Gepäck
4. Schiff wie in Fall 3 mit nur 10% der Vorräte und Treibstoff verbleibend⁵.

Des Weiteren ist der Einfluss der krängenden Momente zu berücksichtigen, um festzustellen welcher Krängungswinkel sich einstellen wird (Schnittpunkt zwischen der Hebelarmkurve und

$$GZ_{krängend} = \frac{M_{krängend}}{\Delta} \cdot \cos \varphi.$$

Hier ist in erster Linie das sogenannte „Wetterkriterium“ zu erwähnen, das die Auswirkungen von starkem Wind und Wellengang auf das Schiff detailliert erfasst (Krängung und Rollen)⁶. Im Rahmen der Thesis wird an dieser Stelle allerdings auf eine Gleichung in der Bekanntmachung über Intaktstabilität ausgewichen, die allein die Windlast berücksichtigt:

$$h_{kw\phi} = \frac{p_w \cdot A}{10 \cdot D} \left(l_w + \frac{T}{2} \right) \cos \phi \quad (1)$$

⁴ See-BG: Bekanntmachung über Intaktstabilität Abschnitt 3.1.4

⁵ IS-Code 2008 Teil B Kapitel 3.4.1.1

⁶ IS-Code 2008 Teil A Kapitel 2.3

mit

- $h_{kw\phi}$ krängender Hebelarm infolge seitlichen Winddrucks
- p_w seitlicher Winddruck ($p_w = 1,0kN/m^2$ für Windstärke 12)
- A Überwasserlateralfäche (= Windangriffsfläche) (m^2)
- D Displacement (t)
- l_w Abstand vom Schwerpunkt der Überwasserlateralfäche zur Wasserlinie (m)
- T Tiefgang (m)
- ϕ Neigungswinkel (Grad)

Der durch Wind verursachte Neigungswinkel bzw. Krängungswinkel darf nicht mehr als 12° betragen⁷.

Zusätzlich muss das Krängungsmoment durch die auf eine Seite gedrängten Fahrgäste (konservativ: Personen) betrachtet werden. Es darf einen Winkel von $\phi=10^\circ$ nicht übersteigen. Hierbei gilt:

- $m_{Fahrgast} \rightarrow m_{Person} = 75kg$
- $m_{Gepäck} = 25 kg/Person$ bzw. $5 kg/Pers\Delta n$ für Tagesausflug
- Höhschwerpunkt auf Deck $dz_{stehend} = 1,00m$ und $dz_{sitzend} = 0,30m$
- Längsschwerpunkt auf $L/2$
- Packdichte der Personen ist im ungünstigsten Krängungsfall mit $4/m^2$ anzunehmen⁸

Darüber hinaus muss gewährleistet sein, dass der Krängungswinkel während der Drehkreisfahrt in Verbindung mit dem Fahrgastmoment nicht größer als 12° wird. Das Moment der Drehkreisfahrt berechnet sich wie folgt:

$$M_R = 0,200 \cdot \frac{v_0^2}{L_{WL}} \cdot \Delta \cdot \left(KG - \frac{d}{2} \right) \quad [M_R] = kNm \quad (2)$$

mit

- v_0 Dienstgeschwindigkeit in $\frac{m}{s}$
- L_{WL} Schiffslänge in der Wasserlinie
- Δ Displacement (Verdrängung)
- d mittlerer Tiefgang

Für alle zu betrachtenden Krängungseinwirkungen gilt, dass der Restfreibord zum freiliegenden Schottendeck nicht kleiner als 0,2 m werden darf.⁹

Bevor Paramarine aussagekräftige Hebelarme des importierten Titanic-Modells berechnen kann, müssen zunächst zahlreiche hydrostatische Annahmen getroffen werden. Dazu gehören u.a. die Verteilung von Passagieren, ihrem Gepäck und der Vorräte an Bord, sowie der jeweils vorliegende Füllstand des Frischwassertanks und der Kohlebunker. Alle diese Abschätzungen werden anhand eines zur Verfügung gestellten Generalplanes vorgenommen.

So stellt sich beispielsweise folgender Sachverhalt für den vierten Standardladefall dar:

Trimm (m)	Tiefgang (m)	Verdrängung (t)	VCG (m)	LCG (m)	GM' (m)
3,045	8,394	40566,241	11,067	124,561	0,874

Tabelle 1:

Eingangsdaten zur Überprüfung der Intakstabilität im Standardladefall 4

⁷ See-BG: Bekanntmachung über Intakstabilität Abschnitt 1.5 und 3.2.4

⁸ hIS-Code 2008 Teil A Kapitel 3.1 bzw. See-BG: Bekanntmachung über Intakstabilität Abschnitt 3.2.4 ff

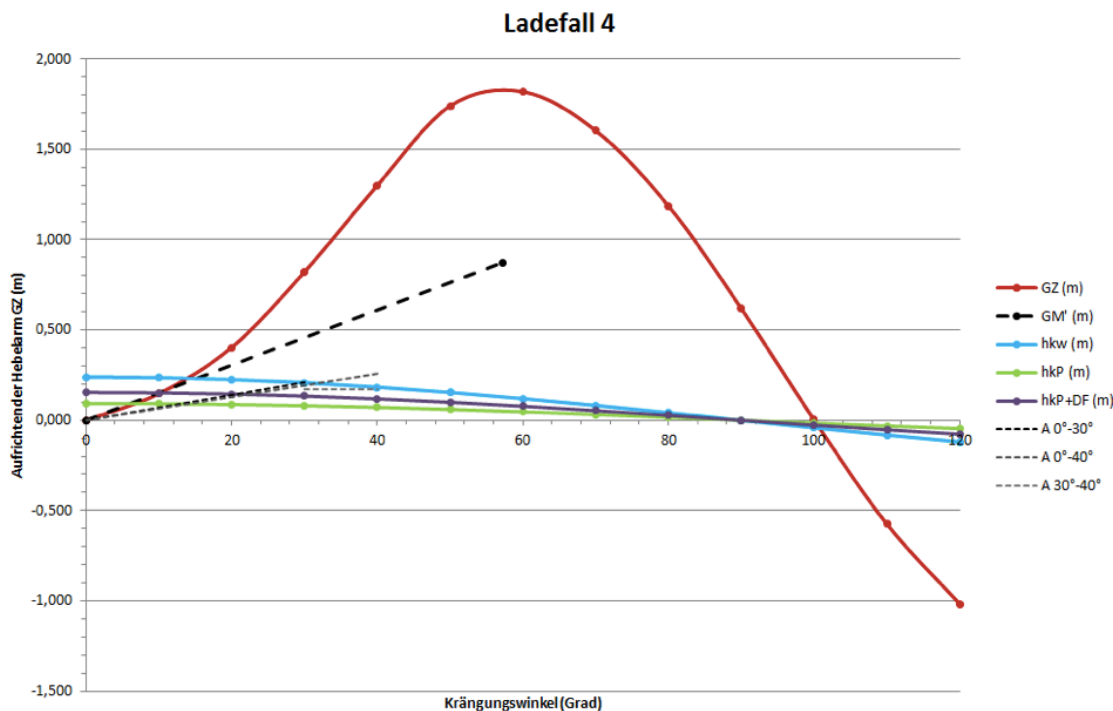


Abbildung 1:
Hebelarmkurve der intakten Titanic (Standardladefall 4)

$A_{GZ_{1-3}}$	$GZ(30^\circ) \geq 0,40m$	$GM' \geq 0,15m$	$Umfang \geq 60^\circ$	$\varphi_{Wind} \leq 12^\circ$	$\varphi_{Per.} \leq 10^\circ$	$\varphi_{Per.+DF} \leq 12^\circ$
erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt

Tabelle 2:
Abgleich der SOLAS-Kriterien (Standardladefall 4)

Die Tatsache, dass das Titanic-Modell die Vorschriften hier hinsichtlich der Windlast nicht trifft, wird auf Fehler im Modell bzw. auf inkorrekte Annahmen bei der Gewichtsabschätzung zurückgeführt. Dennoch wird auf dieser Grundlage mit der Betrachtung von Leckfällen fortgefahren.

LECKSICHERHEIT

Um deutlich zu machen, auf welcher Grundlage Paramarine die Lecksicherheit eines Schiffes berechnet, wird sich zunächst eingehend mit den SOLAS-Vorschriften und dessen Herkunft auseinandergesetzt.

$$R = 1 - \frac{5000}{L_s + 2,5N + 15225} \quad (3)$$

Der Faktor N ist dabei definiert als:

$$N = N_1 + 2N_2 \quad (4)$$

mit

- N_1 Anzahl der Personen, für die Rettungsboote vorgesehen sind
- N_2 Anzahl der Personen (einschließlich Schiffsoffizieren und Besatzungsmitgliedern) über N_1 hinaus, die das Schiff befördern darf

⁹ IS-Code 2008 Teil A Kapitel 3.1.2 bzw. See-BG: Bekanntmachung über Intakstabilität Abschnitt 3.2.4 ff

Die Unterteilungslänge L_S sei hier grob mit der Länge auf Schottendeckhöhe erklärt. Somit kann unter Berücksichtigung der Rettungsbootkapazität der geforderte Unterteilungsgrad R bestimmt werden¹⁰.

Auf der anderen Seite steht das vorhandene bzw. erreichte (attained) Lecksicherheitsniveau A . Dies repräsentiert die Überlebenswahrscheinlichkeit eines vorhandenen Schiffes. Hier sind die räumliche Einteilung des Rumpfes und der Verwendungszweck einzelner Räume ausschlaggebend.

Das Lecksicherheitsniveau (Unterteilungsgrad) A besteht aus der gewichteten Summe der Teil-Unterteilungsgrade A_S , A_p und A_l . Die Gleichung lautet:

$$A = 0,4A_S + 0,4A_p + 0,2A_l \quad (5)$$

Jeder Teil-Unterteilungsgrad bezieht sich auf einen fest definierten Unterteilungstiefgang (d_s , d_p , d_l) und ist eine Summation der Beiträge aus allen berücksichtigten Schadensfällen. Sie werden jeweils mit folgender Formel ermittelt:

$$A = \sum p_i \cdot s_i \quad (6)$$

- mit
- i jede berücksichtigte Abteilung oder Gruppe von Abteilungen
 - p_i Wahrscheinlichkeit, dass nur die berücksichtigte Abteilung oder Gruppe von Abteilungen geflutet wird, wobei etwaige waagerechte Unterteilungen außer Betracht bleiben (Flutungswahrscheinlichkeit)
 - s_i Wahrscheinlichkeit, dass das Schiff nach Flutung der berücksichtigten Abteilung oder Gruppe von Abteilungen schwimmfähig bleibt, wobei die Auswirkungen etwaiger waagerechter Unterteilungen einbezogen werden (Schwimmfähigkeitsfaktor)¹¹

Der aufwendigste Gesichtspunkt ist hier die Bestimmung der Flutungswahrscheinlichkeit p_i . Dabei sind in erster Linie folgende Parameter von Interesse:

- Die Lecklänge (Längsausdehnung einer Beschädigung)
- Die Treffstelle x gemessen vom hinteren Lot (Wo?)
- Die maximal anzunehmende Lecklänge y_{max}
- Die maximale Schadenshöhenausdehnung (in der Höhe)
- Die maximale Eindringtiefe in den Schiffskörper

Für die konkrete Berechnung von p_i sind im SOLAS situationsabhängige Gleichungen mit einer Vielzahl von Variablen aufgeführt¹². Im Wesentlichen geht es darum, durch die Integration einer Leckdichtenfunktion ($w(x,y)$) einen Wahrscheinlichkeitswert für die Beschädigung einer bestimmten Abteilung bzw. Abteilungsgruppe zu erhalten.

Um die Größenordnungen von p_i aufzuzeigen, wird die Auswertung einer Leckstatistik von 1965 herangezogen. Auf dessen Grundlage wurde im „Handbuch der Werften Band X“ eine entsprechende Gleichung aufgestellt, die Flutungswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der Abteilungslänge l bestimmt ($l/L_S \leq 0,2$):

$$\Delta W = p_i = \frac{0,6\left(\frac{l}{L_S}\right)^2 - \left(\frac{l}{L_S}\right)^3}{0,112} \quad (7)$$

Bei der Betrachtung der Titanic ergeben sich damit für die Flutungswahrscheinlichkeiten einer oder zwei benachbarter Abteilungen folgende Kurven:

¹⁰ SOLAS 74 II-1 Regel 6-2

¹¹ SOLAS 74 II-1 Regel 7

¹² SOLAS 74 II-1 Regel 7-1

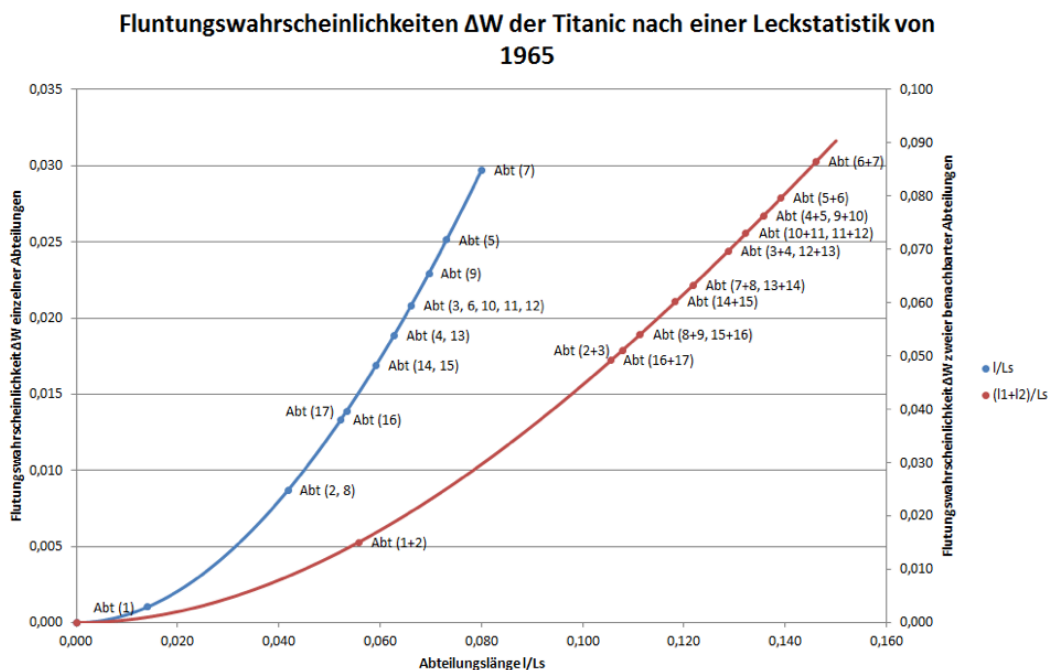


Abbildung 2: Tendenzielle Flutungswahrscheinlichkeiten der Titanic¹³

Mit diesen Werten kann ein Vergleich zwischen den Ergebnissen aus Gleichung 7 und denen von Paramarine angestellt werden:

Anzahl der Abteilungen	ΔW nach Gleichung 7		Paramarine	
	Abteilung	p_i	Abteilung	p_i
1	Min.: Abt. 1	0,001	Min.: Abt. 1	0,007977
	Max.: Abt. 7	0,030	Max.: Abt. 7	0,030000
2	Min.: Abt. 1+2	0,015	Min.: Abt. 1+2	0,019281
	Max.: Abt. 6+7	0,087	Max.: Abt. 6+7	0,033509

Tabelle 3: Minima und Maxima der Flutungswahrscheinlichkeiten im Vergleich zur Leckstatistikfunktion

Die Minima und Maxima der Flutungswahrscheinlichkeiten tauchen in Paramarine genau bei den Abteilungen auf, die auch schon durch die Leckstatistikfunktion angenommen wurden. Der Maximalwert eines Einabteilungsschadens ist sogar in beiden Fällen identisch. Obwohl die statische Datengrundlage von 1965 stammt und die Maximalwerte bei einer Beschädigung zweier Abteilungen um $\Delta p_i = 0,053$ auseinander liegen, so gehen die Ergebnisse von Gleichung 7 prinzipiell in die richtige Richtung.

Ist eine Abteilung oder Abteilungsgruppe beschädigt, so dringt Wasser ins Schiff. Dessen Auswirkung auf die Stabilität wird mit dem Faktor s_i bewertet. Er kann zwischen 0 und 1 liegen, wobei der Wert 1 für eine verbleibende Schwimmfähigkeit von 100% steht. Zur jeweiligen Berechnung von s_i muss jedem flutbaren Raum an Bord das Maß der Flutbarkeit (Prozentsatz) in Abhängigkeit des Unterteilungstiefgangs zugewiesen werden¹⁴. Deshalb wird das Titanic-Modell zur Vorbereitung der angestrebten Untersuchungen bereits NX durch Körperschnitte in seine Abteilungen und Räume eingeteilt.

¹³ Dipl.-Ing. W. Abicht, Dipl.-Ing. J. Bakenhus: Handbuch der Werften Band X (S. 38 f)

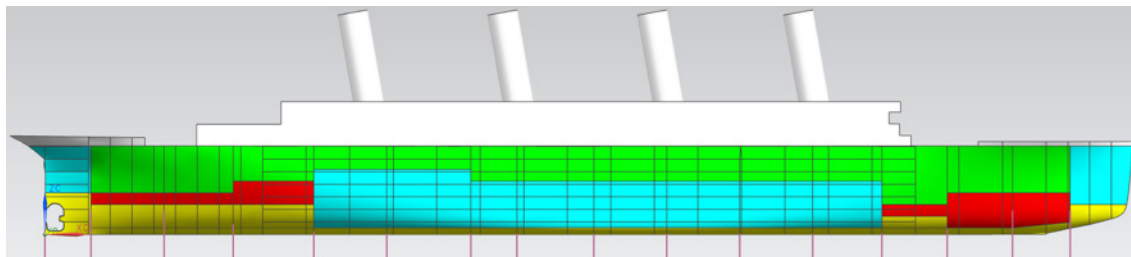


Abbildung 3:
NX-Modell der Titanic mit eingefärbten Flutbarkeiten¹⁵

Dies hat sich nach dem Importieren in Paramarine als Problem herausgestellt, denn Paramarine erkannte die einzelnen Abteilungen zunächst nicht als ganzheitlichen Rumpf.

Um schließlich festzustellen, ob ein Schiff als lecksicher zu bewerten ist, muss das erreichte Lecksicherheitsniveau A mindestens dem geforderten Lecksicherheitsniveau R entsprechen ($A \geq R$). Die drei Teil-Unterteilungsgrade A_S , A_P und A_I dürfen ihrerseits in Bezug auf Fahrgastschiffe $0,9R$ nicht unterschreiten¹⁶.

Für die Leckrechnung sind darüber hinaus, ähnlich wie bei der Intakstabilitätsrechnung, die auftretenden krängenden Momente zu berücksichtigen. Hier kommt das Moment der ausgeschwungenen Rettungsboote hinzu.

Alle getroffenen Annahmen und Charakteristika der Titanic werden mit Hilfe der in Paramarine implementierten Funktionen auf das Modell übertragen. Das für die Leckrechnung verwendete Titanic-Modell ist damit wie folgt unterteilt:

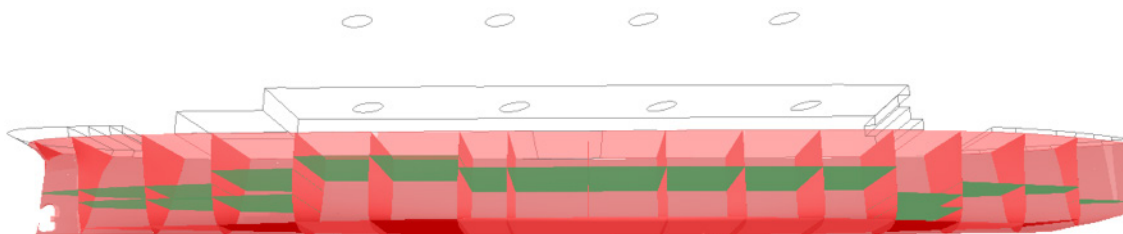


Abbildung 4:
Alle Raum- und Abteilungsbegrenzungen

Um zu verdeutlichen welcher Rechenaufwand hinter der im SOLAS vorgeschriebenen Leckrechnung steht, wird im Rahmen der Thesis ein Beispielleck an der Vorpiekabteilung „handschriftlich“ durchgeführt und schließlich mit den Ergebnissen von Paramarine verglichen.

In einem abschließenden Fazit findet eine Bewertung der Ergebnisse statt, die auch auf mögliche Veränderungen an der Titanic eingeht. Welchen Stellenwert dabei die verwendete Schnittstelle zwischen NX und Paramarine hat, wird durch eigene Erfahrungen reflektiert.

Es wird unterstrichen, dass gerade die Untersuchung der Lecksicherheit die Verwendung einer Software erfordert, da eine Vielzahl von Gleichungen zu lösen ist bzw. Parameter miteinander verglichen werden müssen. Wie aussagekräftig die damit gewonnen Ergebnisse tatsächlich sind, hängt von der Genauigkeit des zu untersuchenden Schiffmodells und den Eingangsdaten der Berechnungsimplementierung ab. Deshalb werden in diesem Zusammenhang z.B. konstruktive Kompromisse im Titanic-Modell kritisch beleuchtet, um ihre Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse darlegen zu können.

¹⁴ SOLAS 74 II-1 Regel 7-2 und 7-3

¹⁵ C. Hackett, J. G. Bedford: *The sinking of S. S. Titanic – Investigated by modern techniques* (S. 168 f)

¹⁶ SOLAS 74 II-1 Regel 6-1

Dazu gehört u.a. die Ausführung der Schotten (vgl. Abbildung 4). Im Gegensatz zur realen Titanic reichen diese im Modell bis zum Hauptdeck. Dadurch ist es nicht möglich, dass eindringendes Wasser, solange nur eine Abteilung beschädigt ist, in eine andere Abteilung übertreten kann. Diese Abweichung von der realen Titanic legt zunächst die Vermutung nahe, dass das Modell besser bewertet wird als es in der Realität der Fall ist. Doch auf Grund der vorgegebenen maximalen Lecklänge, können lediglich zwei benachbarte Abteilungen beschädigt werden. Der damit einhergehende Wasserstand der Flutung würde die realen Schotten nicht überschreiten, sodass keine weitere Abteilung eine Flutung erfährt. Zu diesem Schluss kommen auch C. Hackett und J. G. Bedford (vgl. Abbildung 5).

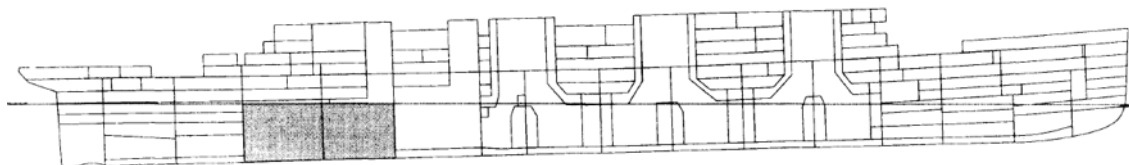


Abbildung 5:
(Nr. 5 und 6) nach C. Hackett und J. G. Bedford¹⁷

Nicht zuletzt hat sich im Rahmen der Thesis gezeigt, dass die SOLAS-konforme Überprüfung der Intaktstabilität und Lecksicherheit in Paramarine zu durchaus tragbaren Ergebnissen führt. Es lässt sich festhalten, dass die Titanic die Bestimmungen hinsichtlich der Teil-Unterteilungsgrade trifft; A_s , A_p und A_l sind jeweils $\geq 0,9R$ (vgl. Tabelle 4), aber dem ausschlaggebenden Vergleich der Lecksicherheitsniveaus ($A \geq R$) nicht standhält (vgl. Tabelle 5).

Condition	PxVxS stbd	PxVxS port	Regulation 6 1 R	R modified by user	Result
Ds Trimm1	$(A_s =)$ 0,763336	$(A_s =)$ 0,763336	$(0,9R =)$ 0,751377	no	pass
Condition	PxVxS stbd	PxVxS port	Regulation 6 1 R	R modified by user	Result
Dp Trimm1	$(A_p =)$ 0,763336	$(A_p =)$ 0,763336	$(0,9R =)$ 0,751377	no	pass
DI Trimm1	$(A_l =)$ 0,763336	$(A_l =)$ 0,763336	$(0,9R =)$ 0,751377	no	pass

Tabelle 4:
Leckrechnungsergebnis nach SOLAS 74 II-1 Regel 6-1

Number of zones	WxPxV	Regulation 7 WxPxVxS Trimm1	Regulation 6 2 R	R modified by user	Result
1	0,329870	0,329870	---	---	---
2	0,433465	0,433465	---	---	---
total	0,763336	$(A =)$ 0,763336	$(R =)$ 0,834863	no	fail

Tabelle 5:
Leckrechnungsergebnis nach SOLAS 74 II-1 Regel 7 und 6-2

¹⁷C. Hackett, J. G. Bedford: *The sinking of S. S. Titanic – Investigated by modern techniques* (S. 215)



HOCHSCHULE EMDEN / LEER

Fachbereich Seefahrt und Maritime Wissenschaften

Adresse: Bergmannstraße 36, 26789 Leer

Telefon: (0491) 92817-0

Internet: <https://www.hs-emden-leer.de/en/faculties/faculty-of-maritime-sciences/>



Prof. Dr. M. Bentin

E-mail: Marcus.Bentin@hs-emden-leer.de

Dr. Hauke Buse

E-mail: Buse@ThyssenKrupp.com

M.Sc. Sarah Fayed

E-mail: Sarah.Fayed@hs-emden-leer.de

Prof. Dr. rer. nat. habil. Jürgen Göken

E-Mail: Juergen.Goeken@hs-emden-leer.de

Dorte Knoop (B.Sc.)

E-mail: Dorte.Knoop@hs-emden-leer.de

Philipp Schmelzer (B.Sc.)

E-mail: Ph.Schmelzer@web.de

Prof. Kap. M. Vahs

E-mail: Michael.Vahs@hs-emden-leer.de

