

Berichte

zur Polar-
und Meeresforschung

637
2011

Reports
on Polar and Marine Research



**The European Research Icebreaker AURORA BOREALIS
Conceptual Design Study — Summary Report**

Der Europäische Forschungseisbrecher AURORA BOREALIS
Konzeptioneller Schiffsentwurf — Abschlussbericht

**Edited by
Lester Lembke-Jene, Nicole Biebow and Jörn Thiede**



ALFRED-WEGENER-INSTITUT FÜR
POLAR- UND MEERESFORSCHUNG
in der Helmholtz-Gemeinschaft
D-27570 BREMERHAVEN
Bundesrepublik Deutschland

ISSN 1866-3192

Hinweis

Die Berichte zur Polar- und Meeresforschung werden vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven* in unregelmäßiger Abfolge herausgegeben.

Sie enthalten Beschreibungen und Ergebnisse der vom Institut (AWI) oder mit seiner Unterstützung durchgeführten Forschungsarbeiten in den Polargebieten und in den Meeren.

Es werden veröffentlicht:

- Expeditionsberichte
(inkl. Stationslisten und Routenkarten)
- Expeditionsergebnisse
(inkl. Dissertationen)
- wissenschaftliche Ergebnisse der Antarktis-Stationen und anderer Forschungs-Stationen des AWI
- Berichte wissenschaftlicher Tagungen

Die Beiträge geben nicht notwendigerweise die Auffassung des Instituts wieder.

Notice

The Reports on Polar and Marine Research are issued by the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research in Bremerhaven*, Federal Republic of Germany. They are published in irregular intervals.

They contain descriptions and results of investigations in polar regions and in the seas either conducted by the Institute (AWI) or with its support.

The following items are published:

- expedition reports
(incl. station lists and route maps)
- expedition results
(incl. Ph.D. theses)
- scientific results of the Antarctic stations and of other AWI research stations
- reports on scientific meetings

The papers contained in the Reports do not necessarily reflect the opinion of the Institute.

The „Berichte zur Polar- und Meeresforschung“
continue the former „Berichte zur Polarforschung“

* Anschrift / Address

Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung
D-27570 Bremerhaven
Germany
www.awi.de

Editor:

Dr. Horst Bornemann

Assistant editor:

Birgit Chiaventone

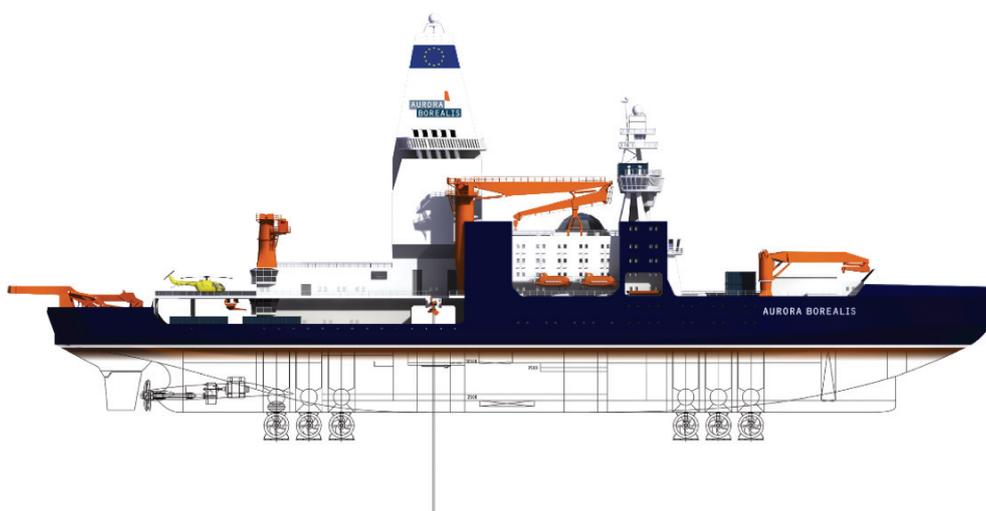
Die "Berichte zur Polar- und Meeresforschung" (ISSN 1866-3192) werden ab 2008 als Open-Access-Publikation herausgegeben (URL: <http://epic.awi.de>).

Since 2008 the "Reports on Polar and Marine Research" (ISSN 1866-3192) are available as web-based open-access publications (URL: <http://epic.awi.de>)

The European Research Icebreaker AURORA BOREALIS Conceptual Design Study – Summary Report

Der Europäische Forschungseisbrecher AURORA BOREALIS
Konzeptioneller Schiffsentwurf – Abschlussbericht

**Edited by
Lester Lembke-Jene, Nicole Biebow and Jörn Thiede**



**Contributing authors (in alphabetical order):
Nicole Biebow, Albrecht Delius, Willy Dölling, Martina
Kunz-Pirrung, Lester Lembke-Jene, Berend Pruin,
Eberhard Wagner**

Please cite or link this publication using the identifier
hdl:10013/epic.38417 or <http://hdl.handle.net/10013/epic.38417>

ISSN 1866-3192

Impressum

Editors

Lester Lembke-Jene

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Am Handelshafen 12
27570 Bremerhaven
email: Lester.Lembke-Jene@awi.de, LesterLembke@mac.com

Dr. Nicole Biebow

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Am Handelshafen 12
27570 Bremerhaven
email: Nicole.Biebow@awi.de

Prof. Dr. Jörn Thiede

Faculty of Geography and Geoecology
St. Petersburg State University
Sredny Prospekt, 41
St. Petersburg, Russia, 199178
sowie:
Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Am Handelshafen 12
27570 Bremerhaven
Email: Joern.Thiede@awi.de

Authors

Albrecht Delius

Wärtsilä Ship Design Germany GmbH
Bernhard-Nocht-Str. 113
20359 Hamburg

Willy Dölling

Wärtsilä Ship Design Germany GmbH
Bernhard-Nocht-Str. 113
20359 Hamburg

Berend Pruin

Binnenfeld 17D
21423 Winsen / Luhe
sowie:
TECHNOLOG GmbH Handels- und Beteiligungsgesellschaft für Technologie
Kajen 6-8
20459 Hamburg

Dr. Martina Kunz-Pirrung

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH
Abt. Wissenschaftlich-Administrative Projektbetreuung
Permoserstraße 15
04318 Leipzig

Eberhard Wagner

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Am Handelshafen 12
27570 Bremerhaven

TABLE OF CONTENTS	1
Summary	3
Zusammenfassung	4
A. Technical Report – edited english version	5
1. Introduction and background	5
2. Technical design concept: Project definition, summary of results	6
2.1 Project overview	6
2.2 Technical design project – summary	9
3. Scope of work	19
3.1 Main tasks according to original specifications sheet	19
3.2 Corrections to requirements during the vessel design	22
3.3 The special challenges of the project	24
3.4 The special experiences with the project	24
4. The design process	25
4.1 Design approaches, development loops in the sequence	25
4.1.1 Volumes, weights, main dimensions	25
4.1.2 Spatial concept and weight distribution	25
4.1.3 Moon pools	25
4.1.4 Further information on the spatial concept	26
4.1.5 Vessel's form and lines	28
4.1.6 Design rationale behind ship propulsion and propellers	29
4.1.7 Propeller and rudder arrangement	30
4.1.8 Trimming system	30
4.1.9 Diesel-electric power generators, exhaust and environment, energy recovery, motor sections, noise and vibrations	31
4.1.10 Noise analyses, vibration analyses, noise calculations	32
4.1.11 Arrangement of scientific work areas on open deck and moon pools	32
4.1.12 Arrangement of living quarters and recreation rooms, "citadel" concept	33
4.1.13 Transport routes and transportation system	34
4.1.14 Combination of transporting and stacking functionality	35
4.2 Model tests on icebreaking and open-water cruises	36
4.2.1 Aker Arctic Research Center (AARC)	36
4.2.2 HSVA	37
4.2.3 Summarised results of model tank tests	38
4.3 Rules and recommendations, ice pressures and strength of ship hull	38
4.4 Innovations	39
4.5 Patented inventions	40
4.6 Usability of results for design and operation of ships in polar regions	40
5. Ship construction costs and budgeting	40
5.1 General cost calculation summary	41
5.1.1 Introduction	41
5.1.2 Specialities	41
5.1.3 Cost factors	42
5.2 Hourly rates	42
5.3 Main fabrication groups	43
5.4 Additional special cost items	43
5.5 Resume	44
5.6 Statistical overview	44
5.7 Remarks	45

6. Summary of project results	45
6.1 Implementation of requirements and specifications	45
6.2 Main dimensions	45
6.3 Ship specification and tender documentation	48
6.4 Editors' notice	48
B. Technischer Abschlussbereich – Deutsche Erstversion	49
7. Aufgabenstellung und Zusammenfassung der Ergebnisse im Überblick	49
7.1 Aufgabenstellung	50
7.2 Zusammenfassung	52
8. Aufgabenstellung	63
8.1 Hauptaufgaben gemäß ursprünglichem Lastenheft	63
8.2 Korrekturen an den Anforderungen während des Schiffsentwurfes	65
8.3 Die besonderen Herausforderungen des Projektes	67
8.4 Die besonderen Erfahrungen mit dem Projekt	68
9. Der Entwurfsprozess	69
9.1 Sequenz Entwurfsansätze und Entwicklungsschleifen	69
9.1.1 Volumen, Gewichte, Hauptabmessungen	69
9.1.2 Raumkonzept und Gewichtsverteilung	69
9.1.3 Moon-Pools	69
9.1.4 Weitere Informationen zur Raumkonzeption	70
9.1.5 Schiffsform und Linienentwicklung	71
9.1.6 Grundsatzüberlegungen zur Leistung und Schiffsantrieb / Propeller	73
9.1.7 Anordnung von Propellern und Ruder	74
9.1.8 Trimmsystem	74
9.1.9 Diesel-Elektrische Energieerzeugung, Abgas und Umwelt, Energierückgewinnung, Motorenaufteilung, Schall und Vibrationen	75
9.1.10 Schallanalysen, Vibrationsanalysen, Geräuschberechnungen	76
9.1.11 Anordnung der wissenschaftliche Arbeitsbereiche auf dem freien Deck und im Bereich der Moon-Pools	76
9.1.12 Anordnung von Wohn- und Aufenthaltsräumen, Zitadellenkonzept	78
9.1.13 Transportwege und Transportsystem	78
9.1.14 Kombination von Transport- und Staufunktionen	79
9.2 Modellversuche für das Eisbrechen und Fahrten im offenen Wasser	80
9.2.1 AARC	80
9.2.2 HSVA	81
9.2.3 Ergebnisse	82
9.3 Richtlinien und Empfehlungen, Eisdrücke und Schiffskörperfestigkeit	82
9.4 Innovationen	83
9.5 Patentierte Erfindungen	84
9.6 Nutzbarkeit der Ergebnisse für Entwurf und Betrieb von Schiffen in polaren Regionen	84
10. Schiff-Baukosten und Budgetermittlung	84
11. Zusammenfassung der Arbeitsergebnisse	85
11.1 Umsetzung der Anforderungen und des Lastenheftes	85
11.2 Die Hauptabmessungen	85
12. Acknowledgements	89
13. Acronyms and Abbreviations	90

SUMMARY

Dedicated research vessels that are capable to operate during all seasons of the year and under unfavourable weather conditions in the central Arctic Ocean and in the Southern Ocean are required to fulfil the new needs of polar ocean research for all marine disciplines. Today, no available research vessel has these required capabilities. Thus, the initiative was taken to develop a novel and dedicated research icebreaker with technical capabilities hitherto unrealised, which will enable the vessel to autonomously operate in the Arctic Ocean even during the severest ice conditions in the deep winter serving all marine disciplines of polar research including deep-sea drilling: The AURORA BOREALIS. The technical conceptual design of this research icebreaker with scientific deep-sea drilling capability AURORA BOREALIS is summarised in this report.

AURORA BOREALIS is planned to be a „European scientific flagship facility“ open to non-European partners, a multidisciplinary platform for studies ranging from the sub-seafloor into the atmosphere. The ability of AURORA BOREALIS to penetrate into the harshest conditions on Earth and to carry out research in the polar winter can set new standards in the fields of polar research and naval architecture, including environmental safety and sustainability of the highest standards. Currently, no polar research vessel has the capability to autonomously operate in pack ice outside the optimal ice conditions of the late summer season. AURORA BOREALIS, in contrast, is planned as a multi-purpose ice-breaking research vessel for Arctic and Antarctic operations with the capability to autonomously navigate in sea-ice with a thickness of more than 2.5 metres. This will for the first time facilitate year-round research, e.g. on the nature of global environmental change.

The ship shall have the unique capability to perform scientific deep-sea drilling operations in water depths between 100 and 5000 metres with a penetration of more than 1000 metres into the seafloor, even while being located amid drifting pack-ice fields. To perform these drilling operations AURORA BOREALIS has to be kept exactly on position. A dynamic positioning system capable for manoeuvring and staying on position in drifting sea-ice is mandatory for this task – an absolute novelty in the shipping industry. Another unique characteristic of AURORA BOREALIS are the two moon pools (7 x 7 meters each) in the midst of the hull that reach into the water below the vessel and enable scientists to deploy equipment into the ocean without being subject to wind, waves and ice. The aft moon pool is mainly dedicated to drilling operations, while the forward moon pool is reserved for most other scientific equipment. This allows as a first the deployment of very sensitive and expensive equipment, e.g. remotely operated (ROV's) or autonomous (AUV's) underwater vehicles within completely closed sea ice cover. Scientific laboratories are located on several decks around the moon pool, which is designed in an atrium-like shape with circular walkways and preparation areas. In order to optimally equip the ship even for mission specific expeditions, containerized laboratories can be also loaded here and become fully integrated into the scientific workflow on board.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Forschung in marinen polaren Regionen kann nur von technisch hoch entwickelten Forschungsschiffen durchgeführt werden. Moderne Schiffe, die in der Lage sind in den zentralen Arktischen Ozean und den Südozean vorzudringen werden dringend benötigt um den dringlichen Bedarf der Polarforschung in allen meereswissenschaftlichen Disziplinen zu decken. Gegenwärtig verfügt aber kein Forschungsschiff über diese Arbeits- und Einsatzmöglichkeiten. Daher wurde ein neuer Forschungseisbrecher entwickelt, der es mit innovativen technischen Merkmalen ermöglichen soll, autonom im Arktischen Ozean unter schwersten Eisbedingungen im Winter multi-disziplinäre Forschungsarbeiten durchzuführen, einschließlich wissenschaftlicher Tiefseebohrungen: die AURORA BOREALIS. In diesem Bericht wird das konzeptionelle technische Design dieses Forschungseisbrechers zusammenfassend dargestellt.

AURORA BOREALIS ist als "Europäische Flaggschiff-Institution der Forschung" geplant für vom Meeresboden bis in die Atmosphäre reichende multidisziplinäre wissenschaftliche Studien mit Zugangsmöglichkeiten anderer nicht-europäischer Partner zu dieser Infrastruktur. Die Fähigkeit von AURORA BOREALIS in die extremsten Polargebiete der Welt vorzustoßen um dort ganzjährig Forschungsaktivitäten durchzuführen soll neue Standards im Bereich der Polarforschung und auch des Schiffbaus setzen, einschließlich höchster Umweltsicherheit und -verträglichkeit. Gegenwärtig existiert kein anderes Schiff weltweit, welches in der Lage ist autonom in mit Packeis bedeckten Meeren außerhalb der Sommersaison mit optimalen Eisbedingungen zu operieren. AURORA BOREALIS hingegen soll als multifunktionaler Forschungseisbrecher alle arktischen und antarktischen Seegebiete befahren, mit der Kapazität mehr als 2,50 m dickes mehrjähriges Eis autonom zu brechen. Dies wird erstmals ganzjährige langfristige Forschungskampagnen erlauben, z.B. zum globalen Klimawandel in den Polarregionen.

AURORA BOREALIS besitzt eine Bohrausstattung, mit der in 100 – 5000 m Wassertiefe mehr als 1000 m tief in den Meeresgrund gebohrt werden kann. Wissenschaftliche Tiefbohrungen werden erstmals im treibenden Packeis ohne Unterstützung durch andere Eisbrecher möglich sein. Um diese Tiefbohrungen durchführen zu können, muss AURORA BOREALIS im driftenden Eis exakt auf Position gehalten werden. Dazu hat sie ein eisfähiges dynamisches Positionierungssystem, ein absolutes Novum in der Schifffahrt. Eine weitere Besonderheit der AURORA BOREALIS sind ihre zwei großen (7x7 m) Moon Pools, durch die wissenschaftliche Geräte in die See abgesenkt werden können ohne dem Eis, Wind und Wellen ausgesetzt zu sein. Über dem hinteren Moon Pool ist der Bohrturm installiert, der Vordere ist anderen wissenschaftlichen Arbeiten vorbehalten und erlaubt erstmals auch das Ausbringen sehr empfindlicher Geräte, wie ROVs und AUVs, in einer geschlossenen Eisdecke. Rings um diesen vorderen Moon Pool werden auf mehreren Decks Laboratorien angeordnet sein, gestaltet als wettergeschütztes Atrium mit Rundgang und Geländern. Durch zahlreiche Stellplätze für zusätzliche wissenschaftliche Laborcontainer kann das Schiff für jede Forschungsexpedition optimal mit Laboratorien ausgerüstet werden.

A. TECHNICAL REPORT – EDITED ENGLISH VERSION

1. INTRODUCTION AND BACKGROUND

Understanding and responding to the dynamics of ongoing global change is of highest urgency and societal relevance and consequently immense attention is paid to the polar regions. The properties of northern and southern high latitude marine and terrestrial areas constitute subjects of intense scientific debate. They react more rapidly and intensely to global changes than other regions on Earth. At the same time they are also a major driver of climate change and hence their impact is not only of regional, but also of global importance.

While the polar land surfaces are characterized by extreme habitats, they are at least accessible to scientists during all seasons. This is not so for the polar oceans. Signs of dramatic changes are currently observed: News about the shrinking Arctic sea-ice cover, potentially leading to an opening of sea passages for commercial traffic to the north of North America and Eurasia, of the calving of giant table icebergs from the Antarctic ice shelves, of changes in the Meridional Overturning Circulation of the deep polar oceans, of the increase in global sea level rise witness such changes in real time. In the Arctic these processes will open up new and un-investigated provinces of non-living resources, while habitats of living resources may be changed. Dedicated research vessels capable to operate during all seasons of the year and under unfavourable weather conditions in the central Arctic Ocean and in the Southern Ocean are required to fulfil the new needs of polar ocean research for all marine disciplines. Today, no available ship has the required capabilities and capacities; in addition these vessels are few and outdated, thus having to split research efforts between the Arctic and the Southern Ocean. Thus, the initiative was taken to develop a plan for a novel and dedicated research icebreaker with technical capabilities hitherto unrealised, which will enable it to autonomously operate in the central Arctic Ocean even during the severest ice conditions in the deep winter serving all marine disciplines of polar research including deep-sea drilling: The AURORA BOREALIS. Such a ship necessarily offers possibilities whose effective use reaches far beyond the capacities and capabilities of an individual nation. Therefore, complex interdisciplinary experiments can only be conducted under close international and interdisciplinary co-operation. The AURORA BOREALIS shall act as a basis to support such research efforts and fulfil the operational needs of the science community as well as political obligations of governments, which have a high interest in the polar oceans, their sea-floors, the environmental properties, and the impact of these regions on the adjacent sub-polar and polar habitats of indigenous and non-indigenous populations.

The AURORA BOREALIS shall support multi-disciplinary research in areas like Climate Change, biodiversity assessments, geohazard analysis, resource engineering or long-term monitoring. It will foster the integration of diverse scientific disciplines such as Glaciology, Biology, Meteorology, Geosciences into common scientific frameworks.

2. TECHNICAL DESIGN CONCEPT: PROJECT DEFINITION AND SUMMARY OF THE RESULTS AS AN OVERVIEW

In December 2007, the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research awarded the ship design and naval architecture company SCHIFFKO the task to develop a completely new type of research vessel. The AURORA BOREALIS project was given the work title SCHIFFKO PRV 200. PRV is an abbreviation for Polar Research Vessel and the 200 indicates the overall length of the ship.

During the entire processing time, the design engineers and senior experts, in particular for the areas of engine concept, dynamic positioning and icebreaking, have worked intensely together as the AURORA BOREALIS Team with the special project team of the AWI. Full-day project meetings were held regularly to exchange information and to make necessary fine adjustments. For detailed planning of the requirement profiles for the vessel on the part of the scientific disciplines, several workshops were carried out with the respective experts.



Fig. 1: Information meeting with the AWI project management and scientists



Fig. 2: Project Management Team meeting on 8 April 2008

2.1 Project Overview

The ‘Wissenschaftsrat’ (Council of Science and Humanities, ‘WR’ hereafter), as highest German independent scientific advisory board to the federal and state governments, had recommended the construction of the icebreaking research

and drilling vessel AURORA BOREALIS at a European level. The technical potential was verified in a technical feasibility study in the framework of the normal risks that are involved in the development of innovative technologies in ship-building. This feasibility study and the scientific concept were reviewed and approved in the WR's statement on 22 June 2006. In addition, to the examined technical feasibility study the WR recommended to conduct further development work and model tests that concern specifically the performance of the icebreaking, the indispensable dynamic positioning in the ice, as well as the realisation of two moon pool units in the hull; one for the drilling and the other for operating the research devices. To achieve this, a project was authorised by the German Federal Ministry for Education and Research (BMBF) under the management of the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven (AWI), in which the tasks defined by the WR should be assessed and resolved comprehensively. Furthermore, the complete vessel design, including the corresponding scientific and nautical systems, should be completed to such a degree that it can serve as a basis for a technical specification that can be used as an international invitation of tenders, which is needed by the later European management level for constructing the vessel.

This requirement was successfully realised during the prescribed development time of 16 months, with an unusually high number of design loops, resulting with great success in the completion of the project. The technical development work has thus been completed on this highly innovative new ship with its complex scientific and marine technology.

Drawings and calculations have been created, as listed in Position "Vessel specifications and invitation of tenders documentation". Furthermore, the following individual reports were drafted and delivered:

- Considerations on the Propulsion Concept with Presentation of Alternatives Regarding Arrangement and Power Generation (Propulsion Concept).
- Design of "Citadel Area" as Survival Centre in Event of Catastrophe with Self-sufficient Power Supply.
- Environmental Analysis Report, Emission Guidelines for Propulsions, Blue Angel
- Concept for Fighting Black Frost.
- Noise Insulation Concept Taking into Account Scientific Requirements for Vessels with Very Low Intrinsic Noise for Acoustic and Seismic Measurements.
- Ship Hull Insulation Concept with Consideration of Constraints (Drawing).
- Concept for the Scientific Drilling in Ice or Polar Regions.
- Concept for the Dynamic Positioning in Open Water and in Ice or Ice Drifts (Dynamic Positioning Concept).

- Model test for the Verification of the Icebreaking Capabilities and as a Basis for the Technical Conception of the Dynamic Positioning and for the Construction Components Needed for That.

a) HSVA reports:

- Reports on the ice loads (computation prognosis) “Computation of Short-term Ice Loads Distribution”
- Report Manoeuvring
- Report Wake
- Report Sea-keeping
- Report Drag/Propulsion in Open Water
- Report Transit/ Turning Circle/ Break-Away/ Oblique in the Ice

b) AARC reports:

- Report Hull Ice Loads (Computation prognosis)
- Report on the Transit, Turning Circle, Break-Away, Oblique Towing Tests in the Ice

Whereas the tests for dynamic positioning where made at the HSVA with a remote-controlled, freely running model, these tests where conducted at the AARC with a model clamped to a dynamometer wagon. These different simulations and methods of measuring technology augment each other perfectly.



Fig. 3: Visualisation of AURORA BOREALIS in the ice.

2.2 Technical Design Project – Summary

The engineering works within this project confirmed that the verifications required by the WR on successful icebreaking of at least 2.5 metre thick ice as well as the dynamic positioning with the partially automated trimming and heeling devices developed for that purpose can be fully provided by the SCHIFFKO PRV 200 concept. This is also valid for the two closable moon pools with their integration into the vessel's structure.

In addition, the propulsion concept with energy-saving and environmentally-friendly power management, the possibility of dynamic positioning in ice for drilling under ice conditions, the optimally integrated multi-functional research facilities and the development of an on-board transport system are special innovations of this ship design. Many of the ideas developed by engineers for the AURORA BOREALIS concept will be optimally transferable to commercial shipping. The heat energy recovery, power management, new types of semi-automated on-board transport systems with integrated software for materials handling (storage, maintenance and logistics), icebreaking technology and corresponding dynamic positioning for drilling in polar regions are prime examples for this potential of technology transfer into the commercial sector. Fortunately, D. Deter (Nautex, Inc., Houston), a senior expert with many years of professional experience, was available for the engineering areas concerning propulsion and dynamic positioning. He was involved as principal consultant in the design for newly developed, self-propelled platforms of all major oil and gas companies since the beginning of dynamic positioning in the offshore business.

The vessel type of the AURORA BOREALIS is defined as a heavy icebreaker (comparable with the most powerful icebreakers in the world), as a multifunctional research vessel for all marine research fields, and as a scientific drilling vessel (for extracting scientific cores from the seafloor). The AURORA BOREALIS is a successful combination of all three types of vessels.

The AURORA BOREALIS was designed and developed for research activities in the entire Arctic Ocean as well as the Polar Southern Ocean around Antarctica and all other polar waters. However, it can also be used in temperate and low-latitude ice-free seas, including warm tropical waters.

While the icebreakers of nations adjacent to polar regions have the task of keeping the trade routes open along the coastal zones, AURORA BOREALIS should – as the only designated heavy research icebreaker – be able to advance independently and without escort as far as possible into ice-covered ocean basins in order to conduct drilling and research work in these remote regions at any time of the year. These ambitious expeditions can currently not be carried out by any other icebreaking ship in the world. All systems of the vessel are therefore designed for safety and reliability with greatest possible redundancy. The AURORA BOREALIS has a triple hull in many safety-relevant areas. It is divided by watertight longitudinal and lateral bulkheads and features fire zones with corresponding staircases and secure escape routes. It has redun-

dant energy generating plants with machine and control rooms that are completely separated from each other.

The pipe systems and cable ducts are arranged for a higher than usual level of safety so that all ship operations can be maintained in case of partial flooding or fire. The failure of individual components and systems does not endanger life on board at any time and also has no direct consequences like the immediate cancellation of an expedition.

The AURORA BOREALIS was planned for a maximum crew of 120 persons, who are accommodated in 74 single cabins and 23 double cabins; each with its own sanitary module. All cabins are on the outer sides of the superstructure and have daylight.

The combination of three special vessels in one design consequentially led to the present vessel dimensions, to the appearance and to the various scientific mission capabilities with the corresponding investment and operating costs. This optimised yet relatively compact vessel constitutes the minimal dimensions for the specified requirements and application profile. Spatial needs, functional integration, light displacement and the deadweight were harmonised with the developed hull shape. The vessel could not be realised any smaller without compromising on significant scientific mission profiles or general requirements that represent unique features.

A very specific hull shape was developed for the AURORA BOREALIS that allows her to break through more than 2.5 metre of thick and very firm multi-annual ice with a continuous speed of about 3 knots. It also enables her to overcome pressurised ice ridges of up to 15 metres height by ramming, and to perform dynamic positioning in the drift of pack ice that is 2.5 metres thick. The vessel was designed and planned in its equipment for mastering such extreme operations and obstacles.

In order to find the best, fastest and most economic route through the ice, the AURORA BOREALIS features manifold possibilities for observing the ice; starting from the ice observation sites positioned high up on the bridge, in the crow's nest and the observation deck on top in the drilling rig tower, all in combination with a sufficient array of powerful ice searchlights. These near-field observations are complemented by aerial surveillance with the own helicopters, on-board ice radar systems, and supplemented by the ship's weather station with permanent satellite monitoring and weather forecasts.

During headway or sternway motion, the broken ice must neither impede the propulsion and manoeuvring devices nor damage the moon pool cover, or the large deep-sea multi-beam echo-sounders in the hull bottom. The ship's shape causes the broken ice floes to be washed aside and to not accumulate as additional drag on and under the hull.



Fig. 4: Special hull shape with forward propulsion and transverse thrust units. Note the placement of the twin moon pools between the transverse thruster units. The swath bathymetry and sediment echo-sounding systems are placed before the forward transverse thrusters in the protruding ice keel.

In addition to the capabilities of breaking through ice, the AURORA BOREALIS needs to be a stable working platform as a research and drilling vessel in ice-free oceans in all weather and sea states and allow for the deployment of scientific equipment through the moon pools, or over the side and the aft.

Due to the multitude of these requirements, the AURORA BOREALIS is a technically unique vessel that is well capable for deployment in polar areas and the open sea during any season of the year. With this vessel, it will be possible for the first time to conduct expeditions in the most extreme, hitherto hardly explored regions of our earth throughout the year and thereby gather knowledge about the geological history, climatic development and the current environmental impacts and interactions in the polar regions.

The design parameters are therefore unusually extensive and complex. Their verification and the optimisation of the developed hull shape was possible only by broadly applied model tests for all cruise mission profiles. Comprehensive model tests were conducted in the ice tanks of Aker Arctic Technology in Helsinki (AARC) and in the various facilities of the Hamburgische Schiffbauversuchsanstalt (HSVA). The measured results yielded the confirmation of the ideas and confirmed the basis for development works of the design engineers on this ambitious special-purpose vessel.

Air temperatures dropping to $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ are encountered in the polar regions in the Arctic and Antarctic regions. At these low temperatures, the conventional steel for ship construction becomes too brittle as a construction material. The planned special steels with their plates of up to 70 mm thickness and extensive stiffening are difficult and complex to process. The exposed tanks for ballast and fresh water need to be heated so that they do not freeze up. The fuel also needs to be heated constantly so that it remains usable. Scientific work should be possible on the outer decks at down to $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. This means that the surfaces of the working decks, the doors and hatches, the hoists, the drilling rig tower with its machinery and equipment, the entire scientific deck equipment and the air in the cabins or the combustion air for the electrical generators all need to be heated. The nautical deck equipment is kept operational at all times by being arranged below closed decks – without additional heating. The requirements for the ship-board systems encounter the opposite extreme in the tropics where the problem is to effect sufficient cooling for machines, devices and persons with up to $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$ warm seawater.

For the propulsion of the AURORA BOREALIS, a three-propeller system was selected with fixed propeller blades reinforced against ice in combination with a central rudder. In particular, even in very firm multi-annual ice the entire propulsion power can be applied by robust propellers and protected propeller shaft systems during transit and research cruises as well as during headway or sternway for ramming without any increased risk of damage. Each of the three propeller systems can take up and transfer a power of 27,000 kW into the water for these extreme ice conditions. Comparable propeller systems can be found generally on heavy icebreakers with great propulsion power. With less severe ice thickness or ice firmness, on transit routes or during research cruises in the open sea, only a fraction of this power is needed. In these cases, the ship is operated with minor propulsion power and low operating costs.

Rotating propeller systems with steering function, e.g. azimuth thrusters or POD propulsions, are not used for the AURORA BOREALIS. The reasons for this are as follows:

- The feasible power output such units could provide meets only a fraction of the required propulsion power.
- The units could not provide sufficient ice reinforcement according to the demands of the highest ice class (IACS PC 1) class due to their construction.
- The vulnerability of such units is not compatible with the safety concept. Significantly more robust propulsion solutions are needed, especially in comparison to the previous feasibility study.

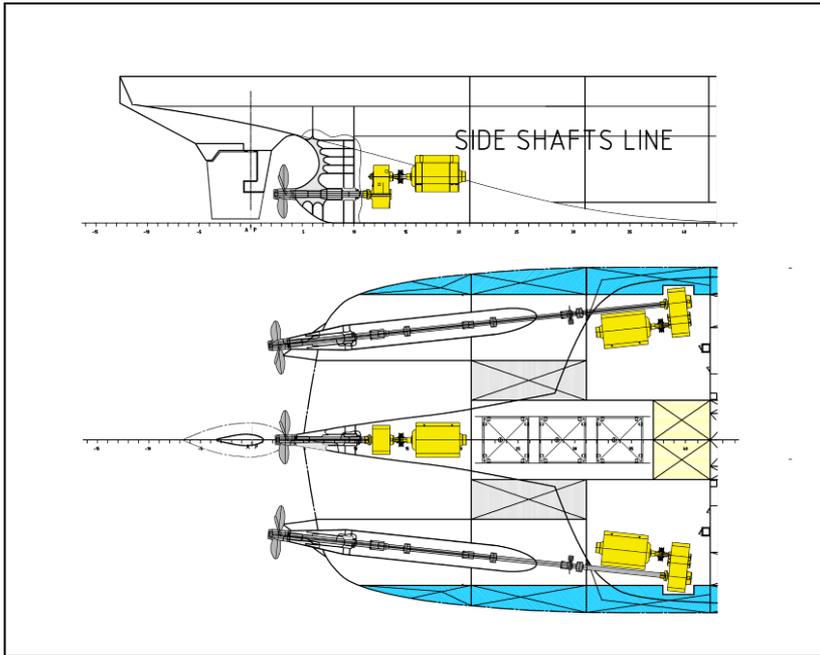


Fig. 5: Technical sketch of the main propulsion arrangement, upper panel: view from starboard side showing central propeller and rudder, lower panel: top-down view showing arrangement of all three propeller systems and three central rear transverse thruster shafts before middle propeller system

For this multi-disciplinary research drilling vessel the capability of moving autonomously into extreme ice-covered areas of the polar regions and then maintaining the position of the vessel at a given spot location, e.g. to drill for an extended period of time with the required accuracy under difficult ice conditions is of highest significance. This mode of operation is currently not possible with any other vessel in the world. Thus, to ensure the drilling in ice conditions through a moon pool, the dynamic positioning in drift ice from a stationary position was developed as a world's first. This means holding the position by employing powerful and robust manoeuvring facilities.

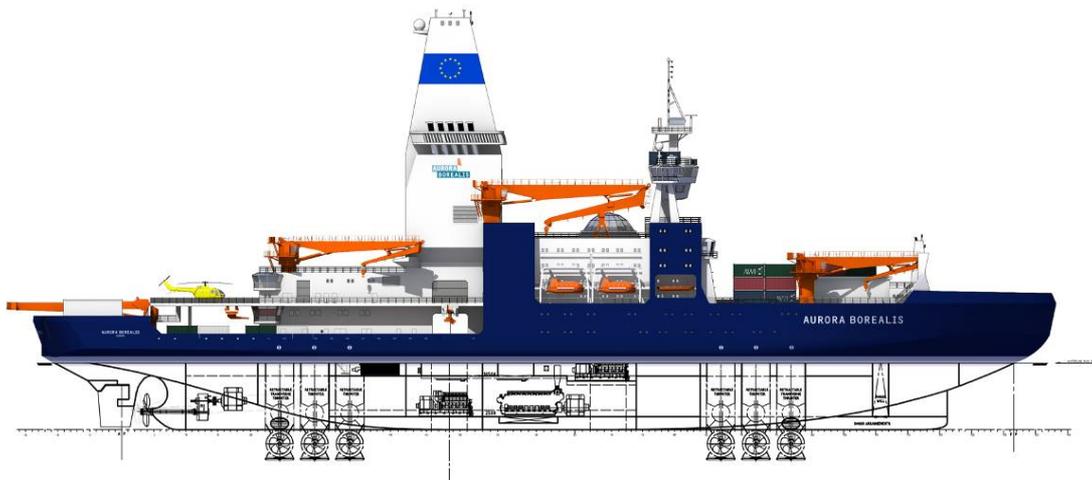


Fig. 6: Side view with aft and fore transverse thruster units arrangement for dynamic positioning in extended position.

Dynamic positioning in open water with counter-thrust against wind, waves and currents by rotating propulsion, called azimuth thrusters, has been used successfully for years in drilling and support vessels of the oil and gas industry. The

occurring reaction forces can be calculated in these cases relatively easily and be compensated by appropriate impetuses. Quite different challenges exist in holding the position in a wide surface ice drift, driven by wind and tides in order to continue drilling for extended periods. This is further complicated by the fact that the drift of the ice can change directions often and quickly and that the ice has different thicknesses, firmnesses or features sudden pressed ice formations. It also takes time to connect up to 6000 metres of drill pipes, to drill, retrieve the drilled cores and to retrieve the pipes.

To perform dynamic positioning, the AURORA BOREALIS needed to be equipped with a total of six transverse thrust units – each with 4,500 KW power – in addition to its three main propulsion units. The transverse thrusters can be lowered on site. In normal state, these propulsors are retracted into the protected hull of the ship. They can be raised further upwards into repair zones above the main deck or even be completely removed from board through appropriate shafts closed by hatch covers without the need for dry-docking the entire vessel. In addition, one fore and aft transverse thrust unit each are to be used in retracted position as a manoeuvring aid. Furthermore, in an emergency scenario with the main propellers malfunctioning it is possible to retract these transverse thrusters completely, insert the units back rotated by 90 degrees, and to employ them as auxiliary propulsion for transiting to the next port of call.

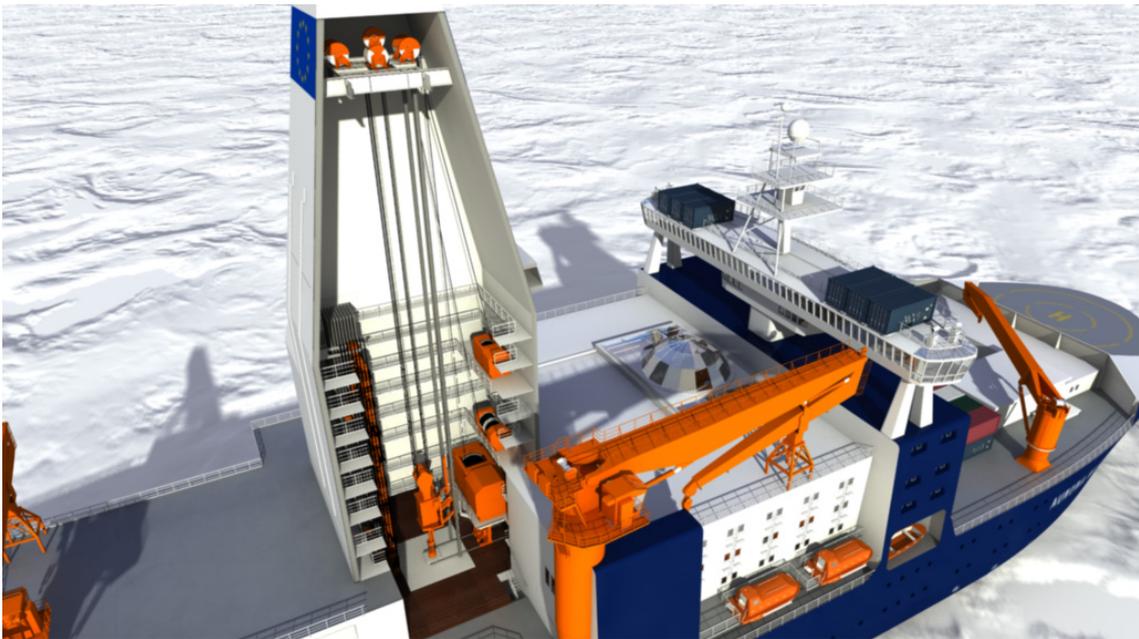


Fig. 7: View into the “opened” drilling rig tower. In the aft part the vertical pipe racker is visible, in the forward section the drawworks (for moving the top drive), the coreline and wireline winch units (orange) are shown, the top drive is positioned down at the rig floor, which is located two decks above the working deck level.

During dynamic positioning operations, AURORA BOREALIS must not gather impetus to run with momentum onto the ice or to ram the ice as in a transit mode. This would have catastrophic consequences for the drilling process and the equipment in operation. Instead, the ship has to hold its position as the surrounding ice slowly approaches. In such a situation, the main propulsions in

combination with the powerful transverse thrust units will press the ship against the ice. However, under some operational conditions that mode might still not be sufficient to maintain position. A ballast water tank system, specially designed for this vessel, is employed as supporting procedure as well. In a semi-automated movement cycle, the bow is alternately raised and lowered rhythmically according to the velocity of the ice drift, simulating the speed needed for breaking ice. This entire process is assisted by controlled active heeling movements. Both processes are supported by the special shape of the hull.

The ship features a special hull shape for operating in open waters as optimal as possible. To reduce rolling motions in higher sea states and rough weather, an additional fin stabilisation system is employed along with the aforementioned heeling system. The good open-water sea-keeping abilities were verified in the HSVA test tank in various open water test configurations with a true-to-form model.

The different operating conditions and tasks of the AURORA BOREALIS create a rather broad spectrum of necessary power requirements for the ship's propulsion, the manoeuvring and positioning, the drilling, the operation of hoists, air compressors and scientific marine equipment. For the most economic and flexible energy supply, the AURORA BOREALIS is planned with a diesel-electric power generation plant with a total of 94 MW electrical output. A customised power management system controls the power requirement and load distribution that needs to be provided to the eight generator sets of different sizes. The diesel motors can be always run in combination, so to achieve optimal load areas and speed ranges for each engine to minimise fuel consumption. During all times, the exhaust heat of the motors is maximally used to heat thermal oil in the exhaust boilers and to generate steam for heating the air for the air conditioning system, the combustion air, the heating of the working deck surfaces, the entry doors and other components. In addition, there is energy recovery also from the consumed air, before the remaining amounts are released back to the environment, cleaned and cooled-down. To minimise the vessel's operating costs with respect to fuel costs, a choice of Heavy Fuel Oil (HFO) or Marine Diesel Oil (MDO) can be used in various cruise modes, in line with fulfilling all regulations pertaining to air pollution – even those regulations by the International Maritime Organization (IMO) to be not instated until 2016. All technical options were kept open in the design in order to follow future developments concerning sulphur components in the fuel of the vessel and to earn and keep the environmental label “Blue Angel” as an environmental-friendly ship. The diesel-electric power generation also offers the benefit of a noticeably quiet vessel, which is of significant importance to scientific measurements.

The main dimensions of AURORA BOREALIS are determined by various factors:

- The vessel's length results from the extended length of the bow for effective icebreaking with its tanks for the pitching,

- The space needed for the quite large transmitting and receiving surfaces of the multi-beam echo-sounders in the hull bottom area in front of the three fore transverse thrusters.
- The two moon pools
- The three aft transverse thrusters
- The propulsion units and the rudder
- Or otherwise the icebreaker stern with the complex engine rooms situated in between.

After several design and optimisation cycles, this results in an overall length of 199.75 metres.

The greatest width was specified at 49 metres, in line with the maximum dimension permitted for the new Panama Canal. This great width with its special form has proven itself as optimal for icebreaking. It also increases the necessary stability for a steady and reliable operation with the big drilling rig tower and the large top weights and wind forces.

The draught of the completely fitted vessel with 15,000 t bunkers and dead-weight, including 2,000 t for scientific equipment, is 13.25 metres maximum, whereby the unladen draught will be around 11 metres.

The height of the working deck is 17.75 metres above the keel and for the scientific work from the deck between 4.75 and 6 metres over the waterline.

The ship features a long, high forecastle and a raised stern for greater safety in rough – especially following – seas, whereby the side icebreaking flanks (balconies) have a positive effect on the sea-keeping. Distinct on the AURORA BOREALIS are also the wide, lateral deck house reinforcements and “ice deflectors” in hoop shape. They serve to protect the vessel with its externally located equipment in case it needs to dock against an ice shelf edge.

The large, closed drilling rig tower in which all activities are carried out under protection from the elements features rather prominently in the appearance of the vessel. The entire drilling equipment with functional integration of the working deck and the drill floor as well as the drilling core handling and processing were designed according to the requirements of the “Integrated Ocean Drilling Program” (IODP). The laboratory arrangement was optimised for a functional workflow. The drilling rig tower, with all facilities, platforms and heave compensators, was designed for handling drill pipes linked into 30 metre long triple stands from a vertical racker and storage magazines for a maximum of 6000 metre drill string. Reserve pipes can be stored in containers on deck and loaded upon need into the drilling rig tower, where assembly into stands to the required lengths is performed semi-automatically.

The AURORA BOREALIS has been designed to be optimally equipped for activities the following research disciplines: geology, geophysics, oceanography, biology, glaciology, meteorology and others. Spacious laboratory areas with

appropriate ceiling heights are available for these activities in the disproportionately large spaces on the free working deck around the forward moon pool. The number of the storing positions for laboratory containers, cooling containers for drilling cores and samples, provisions and other supply containers is about 190 in total.

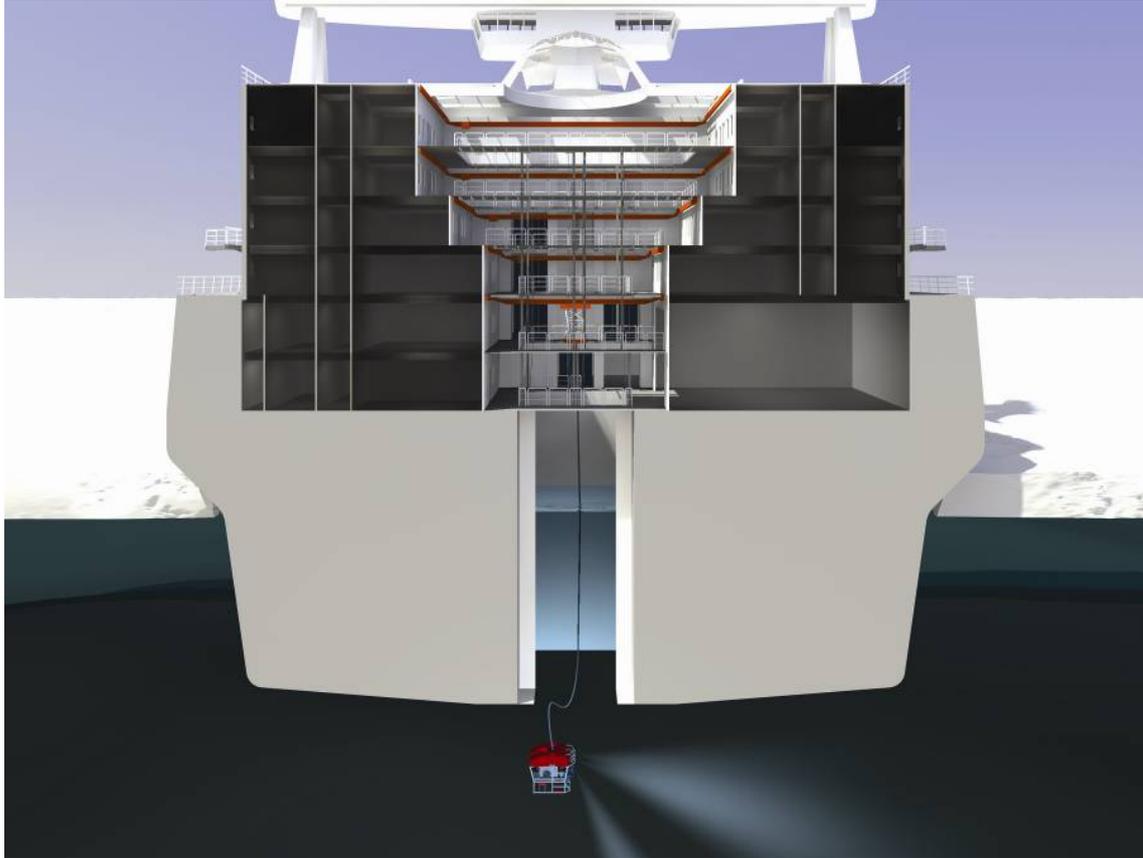


Fig. 8: Cross section through AURORA BOREALIS – Fore moon pool with atrium and cupola roof as well as lateral icebreaking flanks

In addition, for setting up any scientific equipment, the large staging hangar on the starboard side with direct access to the forward moon pool is available as weather-protected area. Arranged over several floors around this likewise 7 x 7 metre wide well shaft are laboratory rooms and storing positions for 32 mobile laboratory containers in an atrium. A transparent dome over the moon pool with prismatic light deflection provides optimal, energy-conserving ambience with daylight atmosphere. This cover can be shifted to allow for the hoisting and lowering of containers and larger devices. The access to the moon pool in various levels allows for scientific working on each of the decks.

Not only can devices of larger size be applied through both moon pools, but also ROVs and other sensitive instruments. Ideal and ice-free access to the oceans is provided inside the air-conditioned atrium and in the protected drilling rig tower with great working heights. The necessary hoists and sliding bars are available everywhere with the corresponding research wires and cables. All scientific winches are located centrally and protected in their own winch room.

A double stern chute is available for working over the stern, for deploying and towing scientific equipment. During icebreaking in demanding conditions, the entire area is closed off by an appropriately strong cover piece.

The vessel is planned for the operation of a so-called tilt-rotor or VTOL aircraft (vertical take-off and landing) and medium-sized helicopters with appropriate hangar and landing facilities. The main landing platform lies in the aft vessel area. An emergency landing pod is available on the forecastle.

In summary, it can be stated that the AURORA BOREALIS sets trends in ice-breaking technology, dynamic positioning, scientific drilling technology, multidisciplinary maritime research, energy generation and exhaust heat recovery as well as in maritime operation technology. The AURORA BOREALIS is a technology carrier which even today yields adaptation possibilities for commercial shipping and the offshore industry, in particular in the Arctic Polar regions.

A detailed construction cost estimate was compiled for the AURORA BOREALIS, with a price basis of 2008/2009. The quantity structure cumulates to a total construction cost of approximately € 790 Million, whereby the cost projections for incidental wharf expenses, insurances and expected earnings have yet to be confirmed. About 59% of the assumed costs were determined by prices stated by professional suppliers. Since some of the equipment has not yet been specified, a price margin of 3% of the construction costs was deemed sufficient. Furthermore, an additional 2% was calculated as a reserve. Since a large portion of the equipment was specially developed for the ship and future implementations will have to be redeveloped, and since some of the prices are based on list prices or scaled price assumptions, the expected price margin of the ship is currently about $\pm 10\%$ of the total construction costs.

The AURORA BOREALIS project was presented to the public in Berlin on the 3rd of December 2008, with numerous representatives from science and politics. The vessel and its future tasks prompted major national and international public interest, as about 150 articles were published within just a few days in the general press and numerous publications in magazines and professional journals. These publications were flanked by additional technical lectures at scientific and industrial associations.

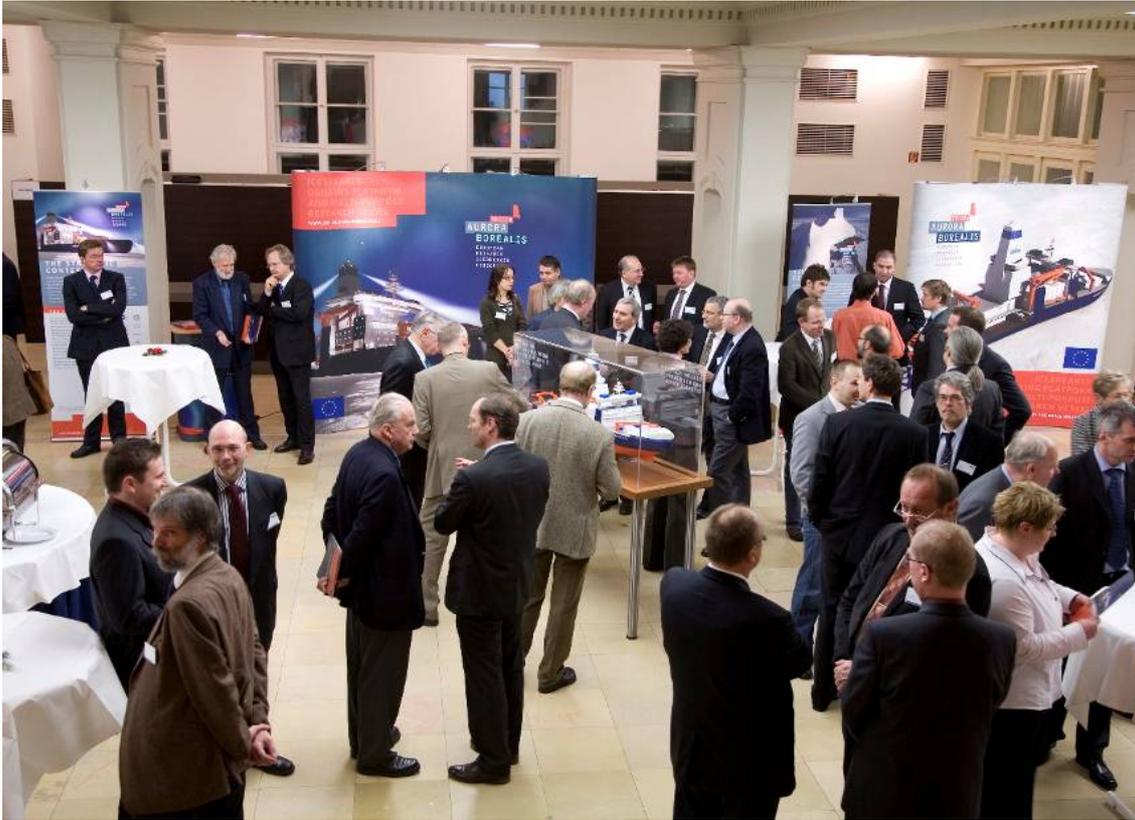


Fig. 9: AURORA BOREALIS Project public presentation on December 3rd 2008 in Berlin, Langenbeck-Virchow House.

3. SCOPE OF WORK

3.1 Main tasks according to original specifications sheet

The boundary conditions listed below served as basis for the scoping of the AURORA BOREALIS. Comprehensive project engineering services needed to be provided and carried out as well as practical towing tests in two ice tank test facilities with respective models of the vessel in order to fulfil these as follows:

AURORA BOREALIS shall be conceived as a heavy icebreaker that is comparable to the most powerful known icebreakers in its icebreaking capabilities.

The operation purpose for the AURORA BOREALIS is to be a multifunctional research vessel for all marine research areas, including a complete derrick with drilling rig tower for extracting sediment cores from the ocean floor.

The vessel shall be prepared for year-round research operations in the Arctic and the Antarctic. This includes the possibility of overwintering during an expe-

dition. Overwintering in this sense means that the vessel is moored firmly to ice floes or drifts in the ice without own headway.

The vessel's service life shall be 40 years.

The ice thickness that shall be broken in continuous headway must be at least 2.5 metres. The speed that is achieved thereby will depend on the hardness of the ice as well as other circumstances. The minimum ice thickness that needs to be broken for drilling operations is identical to the aforementioned minimum ice thickness.

The service speed of the fully loaded vessel shall be at least 15.5 kn in open water.

The propulsion system shall be set up as a redundant system in two separate departments; likewise the machine system concerning the systems that are absolutely necessary for maritime operation. This corresponds to the highest requirements for maintaining ship operations, according to classification DP 3 status.

Environmental conditions:

- Minimum air temperature to which scientific work can be executed while observing all safety requirements: – 30 °C
- Maximum air temperature up to which all devices must be operative without limitations: + 45 °C
- Minimum air temperature for drilling operation: – 25 °C
- Minimum air temperature to which maritime operation must be maintained with limitations: – 50 °C
- Maximum air temperature for maritime operation: + 45 °C
- Minimum seawater temperature for maritime operation: – 2 °C
- Maximum seawater for maritime operation: + 32 °C
- Maximum assumable wind speed: 85 kn
- Maximum wind speed up to which scientific work can be done: Wind force 7 to 8 Bft, depending on the applied devices and the actual wind and sea conditions
- Relative humidity: up to 90%

The AURORA BOREALIS shall be equipped with a complete drilling system with a derrick for drilling of scientific drilling cores.

The drilling operation shall take place during three months – presumably during the summer months – in centre of the Arctic as well as in the Antarctic.

Maximum water depth: 4,000 metres. Drilling down to 5,000 metres water depth should be technically possible. Maximum drilling depth below the sea floor should reach or exceed 1,000 metres.

The following science disciplines need to be taken into account and arranged into the vessel design with regards to the scientific workflow process flows as well as the necessary scientific equipment: Geology (including drilling), geophysics, physical and chemical oceanography, biology with deep sea research, glaciology, meteorology, atmospheric physics chemistry, and bathymetry.

The constant deployment option of a medium-sized ROV belonging to the vessel needs to be taken into account.

The vessel shall be fitted with two moon pool units, each with the dimensions of 7.0 x 7.0 metres that can be used for the drilling and for operating scientific equipment.

Maximum berthing capacity is planned for a crew of 120 ships' and science personnel.

Accommodation is planned for 80 single cabins with sanitary modules and 20 double cabins; also with sanitary modules. Additionally, a pilot's cabin needs to be planned for in the bridge area.

The maximum container capacity shall be 160 container (20') and 20 container (40') for the drill pipes.

At least four storing positions shall be arranged on the compass platform for scientific 20' containers. The maximum weight is eight tonnes per container.

Two helicopters with corresponding facilities and systems are planned for a steady deployment during research operations including the drilling operation. Hangar space should be available for at least three helicopters.

In addition to a heeling compensation system, the AURORA BOREALIS shall be equipped with a fin stabilisation system.

The mobile scientific (i.e. not including permanent onboard scientific equipment) load capacity shall be about 2000 tonnes at a total payload of 15,000 tonnes. This shall include the complete mobile components of the drilling equipment for three months and the complete scientific equipment for four further months, including the corresponding wear and spare parts.

A towage system and opening intended for the stern has to be closable by a cover piece, which must have outer hull structure.

The recommended fuel for expeditions in polar areas is Marine Diesel Oil (MDO). For longer transit routes, it shall be possible to optionally use Heavy Fuel Oil (preferably high qualities with low sulphur content, low inclination to carbonize, etc.).

3.2 Corrections to requirements during the vessel design

During the first design loops, the principal dimensions of the vessel were specified and the maximum draught of 11.00 metres for the vessel departing a port of call with full bunkers was optimised according to customer specification. For icebreaking, a draught of 13.00 metres was selected in order to effectively utilise the vessel's inclined sides within the ice belt with variable ballast tanks. The maximum breadth was specified at 49.00 metres because of lateral stability as well as maximum permitted width for passage of the new Panama Canal. With these parameters, the fullness of the ship in the hull shape was optimised for icebreaking. The resulting overall vessel length was 224.00 metres and the length between perpendiculars was 195.50 metres.



Fig. 10: Full rear-view visualisation of optimised compact vessel with fulfilment of all requirements.

In order to further optimise the design technically and financially, the design engineers were tasked to reduce the vessel's footprint even more and to reduce the overall length to a maximum of 200 metres. This length reduction with additional design optimisation made a fundamental and comprehensive project overhaul necessary with an extended processing period of three more months. The technical requirements also had to be revised by the client in several points for this. The spatial concept for a shorter vessel length made the variation of further specifications necessary as follows:

- The smallest service draught is now 11.50 metres.
- The docking draught is 11.10 metres.
- The icebreaking draught remains at 13.00 metres.

- The icebreaking performance for winter and summer through 2.5 metre-thick ice is 2 to 3 knots maximum. Ice reefs of up to 15 metres were successfully traversed in a model test.
- The maximum water depth for drilling was set to 5,000 metres based on scientific evidence, with a maximum penetration depth below sea-floor of 1,000 metres (or more, depending on borehole stability and drilling operations). Thus, 6,000 metres of drill pipes and further 6,000 metres of reserve pipes are planned.
- The accommodation is provided in 74 single cabins and 23 double cabins, each with sanitary modules.
- The maximum container capacity was specified at 32 units of 20' laboratory containers in the moon pool area, 48 units 20' container in the cargo hold, 6 units 20' research container on the compass platform and 64 TEU (20' or 40' container) on the working deck with storage in double layer or 88 TEU with storage in three layers, e.g. for reserve drill pipes. This includes the storage of the drilling cores, if necessary in reefer containers. The total number now is 192 TEU.
- Due to the innovative atrium concept, up to 32 laboratory containers can be arranged around the forward moon pool for research projects. These containers can be exchanged during the cruise. The necessary laboratory capacities could be completely provided even in the shortened ship by designing multifunctional, permanent laboratory rooms and spatially arranging these with free access to open deck areas, to the moon pools and the drilling rig tower with its facilities for each of the respective scientific disciplines.



Fig. 11: Innovative atrium concept with research and charging possibilities from all deck levels.

3.3 The special challenges of the project

The special challenges of the project had been defined by the quite comprehensive project definition and energy requirements. To date, no vessel exists that fulfils comparable tasks and which could provide comparable experiences, data or concepts for the naval architects.

These challenges can be listed in brief as follows:

- The combination of three different ship types in one single design.
- Developing a vessel that is safe in every respect and that can operate autonomously in the remotest polar regions of the earth.
- The broad spectrum of temperature and climate requirements for the operational boundary conditions of the vessel.
- The development of strategies for icebreaking and dynamic positioning in the ice drift with minimal headway by trimming and heeling tanks.
- The development of moon pool utilisation concepts as well as moon pool constructions with integration into the ship's structure.
- The development of an optimal vessel shape for "omni-directional icebreaking" while maintaining a high open water seagoing performance for research expeditions.
- The development of an efficient on-board transport system.
- The arrangement and the design of a power generation system with lowest possible operating costs and usage optimisation with energy recovery while adhering to strictest environmental rules and guidelines and achieving simultaneously minimal structure-borne noise and vibrations.

3.4 The special experiences with the project

In retrospect, it can be stated that the vessel was continuously refined from a rough concept through various project loops on time systematically by the project management team, while the global concept was pursued. The general arrangement planning with spatial concepts, volumes and weight balancing was repeatedly backed up by various concept investigations from multiple planning disciplines. The concept of a variable draught combined with partially inclined side hull structures that had been postulated for a long time by participating design engineers as appropriate shape for "omni-directional icebreaking" and the dynamic positioning has proven itself as correct and successful in combination with a newly developed trimming and heeling technology. The engineering assumptions by the naval architects were continuously reviewed and validated by the comprehensive model tests and calculations. No need arose to significantly alter the design values of AURORA BOREALIS or to revise the concepts. With the modified project definition the vessel was optimised once more technically

and financially and, while keeping the development concept, shortened quite compactly to less than 200 metres.

4. THE DESIGN PROCESS

4.1 Design approaches, development loops in the sequence

4.1.1 Volumes, weights, main dimensions

To define the vessel's principal dimensions, it was important to first define the vessel's body with superstructure as volume with weight coefficients for steel, equipment and facilities. For that, various icebreakers were compared for analysis, including the POLARSTERN that was designed by SCHIFFKO. In further development loops, the weight coefficients were replaced by surface weights of the created steel structure plans and finally also verified by a three-dimensional steel structure model in order to determine the centre of gravity with greater precision. For the equipment components and facilities, the project assumptions were replaced stepwise by precise data from suppliers. The weights and their verifications were continuously updated during the entire project duration to increase the planning accuracy.

4.1.2 Spatial concept and weight distribution

The vessel's spatial concept was already created at the beginning, based on the wealth of experience SCHIFFKO could provide in the planning and the construction of research and special ships. It was a particular aim for the design of the AURORA BOREALIS to concentrate the masses of the vessel comprehensively amidships at half the ship's length. This provides the best conditions for an advantageous own inertia radius of the vessel for icebreaking and for dynamic positioning using heeling and trimming tanks. The principle of the ballast tank system in combination with laterally projecting icebreaking inclined hull sides result in a vessel shape that makes "omnidirectional icebreaking" possible. This concept was already developed some years ago by SCHIFFKO in preliminary studies for the AURORA BOREALIS and was continuously refined during the current project process based on the model tests in the ice tank.

4.1.3 Moon pools

The moon pools, in particular the aft drilling moon pool, should be located as closely as possible to the turning axis of the ship in order to provide the best conditions for the dynamic positioning during drilling. However, the scientific fore moon pool should also be located close to the waterline centre of gravity in order to be subject to only minimal ship movements. The two large moon pools

have thus significantly influenced the overall spatial concept for the AURORA BOREALIS.

The drilling rig tower with its derrick and machinery rests over the aft drilling moon pool. The multifunctional geology laboratories for analysing the drilling cores are located in close proximity. Due to its overall influence on air currents, the drilling rig tower defines as well the location of the exhaust systems for the power generation. The specified positions of the exhaust stacks were successfully subjected in a first analysis to a three-dimensional computer model calculation to validate their most practicable position.

The numerous cabins, mess rooms and common rooms are located on the outer walls of the superstructure where they can receive daylight. The rooms are arranged in an optimally quiet zone with regard to the vessel's motions and noise emission from icebreaking or drilling and positioning, as well as to noise radiation from the power generation plants.

4.1.4 Further information on the spatial concept

The large shafts with the extendible transverse thrusters are a determinant factor for the bow and stern areas of the vessel fore and aft of the moon pools. These manoeuvring units can be raised up for maintenance into repair bays or removed completely via the top through existing hatches. As a further special development, the thruster shafts in the AURORA BOREALIS are completely closed when the transverse thrusters are retracted so that interfering turbulences and air bubbles are avoided as much as possible. These otherwise cause inaccuracies or otherwise faulty patterns during measurements with the multi-beam echo-sounders. Furthermore, all echo-sounder converters in front of the fore transverse thrusters are installed in a specially shaped protruding underwater hull part.

The central propulsion motor with shafts and middle propeller and rudder is located behind the furthest aft transverse thruster. This functional arrangement determines the spatial concept for this special-purpose vessel. The respective outermost transverse thruster units can be used in retracted position additionally as normal bow and stern thrusters for nautical manoeuvring.

With the start-up phase of the design process, a subdivision of the vessel in optimal leak areas and cost-effective fire zone arrangements was begun. Simultaneously, the ventilation systems and air conditioning areas, fire protection and evacuation possibilities with continuous staircases including escape and rescue routes were planned in an interactive and coordinated approach.

The under-deck space concept is characterised by a spatial raster of longitudinal and transverse bulkheads with a double bottom and a triple side hull for the best possible protection against damage from outside impact, thus minimising risks of environmental damage incidents. The carefully arranged internal small-scale subdivisions increase the watertight integrity of the ship and provide an environmentally friendly and energy-saving tank room compartment, while also

increasing the structural strength of the ship's body. The inner cells contain the engine rooms that operate separately and independently of each other along with the electrical generators and auxiliary aggregates, switchboards and control rooms.

The most suitable location for the large central winch room with its numerous friction and winding winches was on the working deck level, from where wires, electrical and fibre optic cables can be fed in a relatively straight line to all scientific cranes, hoisting gear and sliding beams at the moon pool, the starboard side and the stern. Ergonomically, this is an optimal location.

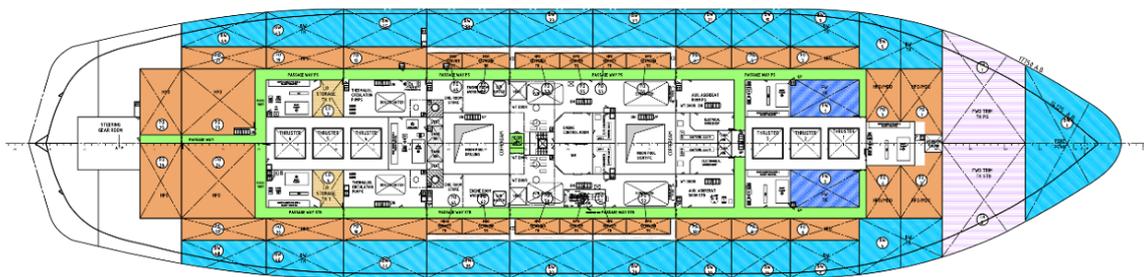


Fig. 12: General Arrangement Plan view with principal subdivisions of upper tweendeck (Deck 3, 14.125 a.b.). Colours: blue – ballast water tanks, brown – fuel oil tanks, green – passage ways.

The lower deck in the bow section contains cargo holds that are suitable for general cargo storage as well as for 20' and 40' containers and a wide range of research devices.

A very large and spacious sideward working deck allows researchers to deploy scientific equipment over the starboard side. Scientific works can also be performed from the stern of the ship in the two stern chutes. The stern chutes can and must be closed while breaking ice moving astern. By placing a suitably stable and properly shaped cover piece on top of this area, it can be used as a protected workspace for research tasks providing weather shelter.

The bow and stern are optimally protected against incoming waves by a long forecastle and short poop deck with additional bulwarks. Thus, work can be performed with a minimised risk of accidents in rough seas.

The arrangement of the nautical bridge is a direct consequence of the mandatory need for good visibility during icebreaking and transit as well as research expeditions.

4.1.5 Vessel's form and lines

In developing the lines, a cross-section form was chosen with angled icebreaking side walls. These allow to break ice omni-directionally during dynamic positioning so that the vessel gains space for lateral manoeuvring by using the transverse thrusters and heeling tank system. The forecastle contains a spoon bow fitted with an icebreaking wedge that merges harmonically with the keel. This shape allows the ship to glide onto the ice during ice ramming mode or while the ship is positioned dynamically in “ice trimming” mode. Thus, the weight of the ship can be used to assist in breaking the ice. The wedge prevents the ship from gliding too far onto the ice. It divides the incoming ice so that the integrated echo-sounder converters can be kept free of ice impact. The ice-free area at the front of the wedge-shape keel contains the large converters of the multi-beam echo-sounders. In addition, the wedge stops the ship in a controlled manner so that it does not become stuck in the ice. Thus, the ship can pull itself astern away from the ice and make another ice ramming run.

The shape of the stern has been designed to allow as well for effective icebreaking while moving astern and supports dynamic positioning by the ice trimming system. The stern with its two chutes for housing research equipment was optimised in collaboration with geophysics experts for the deployment of seismic equipment in ice covered and open waters. The stern was optimised with respect to optimal workflow, locations of the auxiliary and aft laboratory rooms as well as weather-proofing. This area can be closed off effectively using the specially designed cover pieces. These can be handled using onboard cranes.



Fig. 13: rear view with stern chutes, A-frame, helicopter pad and hangar, left side: cover piece removed and stern chute opened, right side: fully closed stern section.

To allow icebreaking while moving astern, the central rudder is protected by an ice spur and fastened amidships to protect the rudder blade and rudder machine. The three propellers are arranged in a position very deep below the waterline. The large clearance between the propeller and the hull allows large ice floes to glide along the hull without engaging with the propellers and becom-

ing pulverised. This is a significant aspect pertaining to the reliable operation of the entire propulsion system.

The underwater closing hatches of the three extendible transverse thrusters located both fore and aft of the moon pools are not watertight while retracted for operational reasons. However, the two moon pools do have watertight hatches and are designed to be closed during transit cruises to prevent large displacement losses and reduction of freely moving water mass in the shafts. During research cruises where data is gathered, they remain closed to minimise noise. Furthermore, the smooth closure minimises vessel drag, and reduces the service draught as long as the entrapped volume of water is pumped out. The moon pool is well suited for assembly and preparatory work on large-scale equipment and drilling gear. Furthermore, the shafts can be cleaned quickly, safely and cost-effectively in compliance with scientific requirements.

4.1.6 Design rationale behind ship propulsion and propellers

The ship propulsion system and the power levels of the individual propulsion units were designed in accordance with ship safety aspects and with the goal of achieving maximum reliability through systemic redundancy. The design strategy for the propulsion units was to utilise tried-and-tested technology without compromise. Since the AURORA BOREALIS shall operate in regions that are inaccessible or highly remote, providing external assistance would be technically difficult and costly. The propulsion concept with a three-propeller system and a central rudder was chosen at an early stage and is comparable to other reliable systems already used in heavy icebreakers. The propulsive power required for icebreaking with a speed of approx. 3 knots in 2.5 m thick multi-annual ice was determined during model tests in the two ice tanks and resulted in an effective power demand calculation of 3 x 27,000 kW.

The six transverse thrust units were chosen because they offered maximum robustness and minimum risk of failure under extreme operating conditions in ice. All design decisions and component selections were influenced by the many positive and negative experiences gained and lessons learned with positioning systems in the oil and gas industry. As a result of the high propulsion power requirements, the risk of sealing damage in the propulsion units due to ice collisions, and the general difficulty in repairing the units especially while being offshore, it was decided to not use fully rotatable thrusters. There are currently no azimuth propulsion units available on the market, which are sufficiently ice-strengthened in accordance with the highest ice class PC1. The transverse thrusters that were chosen do not offer optimum efficiency, but their tried-and-tested robustness is convincing. They enable to fully implement the safety measures and extension mechanisms that have been developed in this project. Azimuth thrusters with this power capacity are not conceivable for the highest polar class of PC1 in the foreseeable future. The required drive capacities and the resulting component dimensions were ultimately verified in model tests for dynamic positioning in both ice tanks. The selected transverse thrusters are

propellers contained within nozzles and offer 4,500 kW capacity each. If further investigations during the detailed design stage determine that higher capacities are necessary, they could still be implemented without having to redesign the thruster units.

In dynamic positioning mode, the ship is always manoeuvred with bow or stern facing towards the main ice drift, so that ice is broken most effectively by the various icebreaking components. To rotate the ship, the fore and aft transverse thrusters apply a turning moment that presses the ship against the edges of the ice floes. The bow and stern shoulders of the hull with their icebreaking tapers at the end and the diagonal sides work together with the heeling and trimming tank system to break ice away from the sides so that the ship maintains sufficient open water leads for manoeuvres. Thus, the ship is able to exit a given position and turn free on a spot location.

4.1.7 Propeller and rudder arrangement

The distinctive hull shape of the AURORA BOREALIS with its bow and stern icebreaking capabilities in combination with the wave tunnel for middle and side propellers have proven to be highly effective during model tank tests. They performed extremely well during sea-keeping tests with diverse wave directions and spectra. The large propeller clearance was shown to be advantageous for lower noise levels during icebreaking, especially during research cruises where data is to be gathered. To allow for sternway movement in ice, this ship uses a solid central rudder fitted with an ice spur. The rudder surface is sufficiently dimensioned, and since the lateral propellers, when loaded differently, can also apply a resultant torque to the ship basic manoeuvring is feasible even without a rudder. During the model tests in ice tanks, the arrangement and positioning of the propellers and rudders were confirmed to be very good under a variety of operating conditions. The open water speed and quiet state performance during research work were also found to be very good in the test tank.

4.1.8 Trimming system

One special feature of AURORA BOREALIS and a fundamental requirement for dynamic positioning is the newly developed trimming system. Using this system, large volumes of ballast water can be pumped between the fore and stern trimming tanks. This process rhythmically lifts and lowers the bow or stern to break ice in a controlled manner at very low ship-to-ice speeds. In combination with the vessel's special shape, the active heeling system and transverse thrusters, this system is a key to successful dynamic positioning in ice drifts.

The naval architects' and engineers' ideas were continuously refined and improved in consultation with the pertinent suppliers up to a production stage design. With this concept, a moving icebreaker is effectively simulated even when the ship remains stationary. The trimming system concept was granted letters patent.

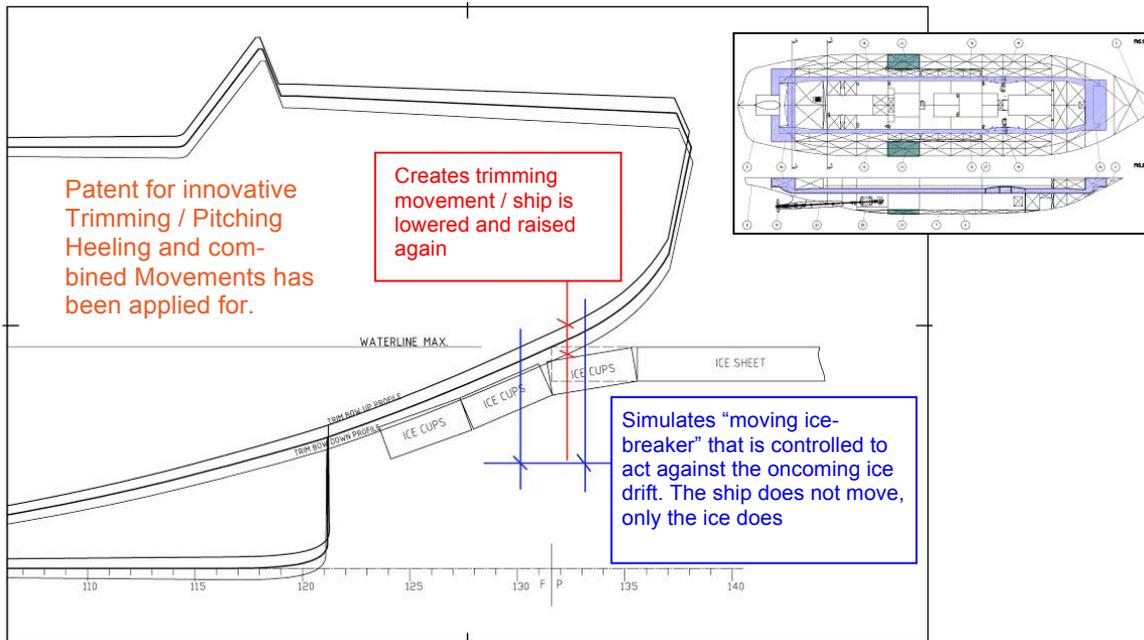


Fig. 14: Dynamic Positioning using innovative trimming / pitching heeling and combined movements for icebreaking.

4.1.9 Diesel-electric power generators, exhaust and environment, energy recovery, motor sections, noise and vibrations

To cover the wide spectrum of diverse energy requirements on AURORA BOREALIS, diesel-electric generator sets were chosen as the most efficient way of power supply. The energy requirements of all electrical consumers were determined for various cruise and operational profiles in icebreaking, drilling and dynamic positioning in ice, ice ramming, transit cruises in ice and open water, and *in situ* work. The size, numbers and capacities of the diesel-electric generator sets were optimised according to these typically occurring power demand profiles to minimise task-specific fuel consumption, leading to the development of a ship-specific power management scheme. In addition to diesel engines, other ways of power generation were also investigated such as gas turbines. However, the operational cost analyses of the assumed yearly mission requirements and expedition profiles do not permit the extensive usage of gas turbines.

As a result, the ship is planned with a total of eight diesel generator sets of differential power capacity that are arranged in symmetrical pairs. The highest power consumption occurs during ice ramming and drilling with dynamic positioning. Noise and vibration are minimised through appropriate placement and design of the engine foundations. In addition, two of the generator units have

been planned for installation on special low-noise and anti-vibration foundations to provide power during especially noise-sensitive research cruises.

The power generation and utilisation were determined using the specific fuel consumption rate of the engines, environmental restrictions with respect to CO₂, NO_x and SO_x emissions, future requirements and rules on emission limits for engines and exhaust systems, the availability and costs of Arctic Diesel, Marine Diesel Oil as well as Heavy Fuel Oil with reduced sulphur content and their usage in Environmental Protection Areas, as well as the best possible yield in recovering hot exhaust gases to heat the ship in polar regions.

All of these considerations and developments were included in the following conceptual plans:

- Considerations on the Propulsion Concept with Presentation of Alternatives Regarding Arrangement and Power Generation (Propulsion Concept).
- Environmental Analysis Report, Emission Guidelines for Propulsions, Blue Angel

4.1.10 Noise analyses, vibration analyses, noise calculations

The earliest design concept phase already accounted for strict separation between living, social, public, laboratory and measurement areas as well as buffer zones towards the engine rooms and other rooms containing noise-generating equipment. Noise calculations were performed using previously defined limit values – some even set lower than the design thresholds typically used in ship-building – to ensure that the finally realised ship could comply with tight noise emission limits. Anti-vibration foundations were specified for all power generators, motors and moving engines. Inasmuch as already possible during this comparably early current design phase, eventual vibration aspects were included in the specification. Appropriate noise insulation concepts were developed so that the ship could be manufactured in accordance with the specified essential requirements. The following concepts were taken into consideration:

- Noise Insulation Concept Taking into Account Scientific Requirements for Vessels with Very Low Intrinsic Noise for Acoustic and Seismic Measurements.
- Ship Hull Insulation Concept with Consideration of Constraints (Drawing).

4.1.11 Arrangement of scientific work areas on open deck and the moon pools

All scientific work areas are located on or above the main working deck. In addition to the very large, open working area at the ship's stern, all other drilling and research equipment and gear is located in the quite compact, protected super-

structure. This structure was placed at an optimum location with respect to scientific workflow aspects. The scientific areas and laboratories were planned and optimised in consultation with the scientific staff at AWI and other institutes. To achieve this, meetings were held with representatives of the various scientific disciplines.

The drilling rig tower with a height of 80 m above the base elevation consists of a closed integrated steel structure that is hermetically sealed against the external elements. This allows scientific drilling to be performed independently from outside temperatures in a relatively pleasant work environment. To effectively modulate the inside of the drilling tower area, heat is extracted from the HVAC system as well as from the motor cooling water. The upper area of the drilling rig tower contains rooms for scientific work and ice observations. All of the drilling equipment, tools and spare parts are stored inside the tower for the current drilling operation. During research cruises without drilling operations, any interfering drilling equipment is removed or driven to the park positions. As a result, this moon pool can also be used by other scientific disciplines. The moon pool can be also closed off and is sealed watertight at the bottom towards the sea, e.g. to prevent potential harm to the environment by contaminants on board.

The fore moon pool is intended for multidisciplinary scientific work and for deploying scientific devices of all types and sizes. This moon pool is surrounded by corresponding laboratory rooms (including lab container spaces), forming the shape of an atrium. A number of prepared laboratory containers can be lowered into the moon pool area through a moveable hatch. The atrium design and its inherent logistical advantages is a novel feature compared to other research vessels. The cupola roof provides a pleasant daylight atmosphere and minimises power consumption. On cloudy or dark days, a twilight switch is tripped and activates the artificial lighting sufficiently so that work can be carried out comfortably. This moon pool can be also closed at the bottom and the shaft floor can be used to assemble large-scale scientific equipment if needed.

During the various drafting phases and in intensive exchange with specialist firms and experts from the U.S. Implementing Organisation of the Integrated Ocean Drilling Program (IODP-USIO), the following aspects were designed in close consultation: drilling rig tower area with feeding and storage of drill pipe and accessories, handling of core samples, optimisation of rig floor, disassembly of drilling equipment to free up moon pool for other applications, arrangement and configuration of drilling rig tower with integration into ship's hull and superstructure, integration of exhaust system into tower as well as inclusion of high-elevation ice observation station.

4.1.12 Arrangement and facilities of living quarters and recreation rooms, “citadel” concept

The size of the ship allows the public rooms and social areas to be comfortably arranged and equipped for discussions, larger meetings and small conferences, but also for high-profile receptions aboard if the need arises, as it travels the

world in a capacity of being a major European research facility. Habitability aspects have been designed for optimal work procedures and a wide range of scientific activities, but potential public outreach and social events on the AURORA BOREALIS have been carefully considered in the design works.

Since the ship is sufficiently large, the cabins are user-friendly, spacious and located on the outer parts of the ship's superstructure. The ship management staff and chief scientists have separate study rooms in their cabins or at least additional space for carrying out administrative tasks.

All of the vitally important rooms and functions have been grouped together in a "citadel area", to where the vessel's crew complement can evacuate in cases of emergency or other unexpected situations on board such as:

- Ship has become entrapped in ice and remaining bunker must be used as economically as possible, or
- Engine rooms have been lost due to fire or flooding and there is no longer sufficient energy generation available.

The citadel area is located in main fire zone 2 and includes 51 cabins with 52 beds, kitchen, mess rooms, food storage rooms, hospital, laundry and carpenter's workshop with storeroom. Crew members with cabins outside of the citadel get temporary quarters in the Europe Launch and Officers'/Scientists' Mess Room 2 with bordering recreation room. The citadel is supplied with electrical power from the emergency generator and heat from the emergency boiler, both of which are located beneath the forecastle deck. This concept is summarised in the following report:

- Design of "Citadel Area" as Survival Centre in Event of Catastrophe with Self-sufficient Power Supply.

4.1.13 Transport routes and transportation system

AURORA BOREALIS has been designed to include a partially automated logistics and transportation system with data acquisition and control of items transported internally on the ship. All hallways and transportation routes are straight and wide enough for accommodating euro-pallets. In addition to scientific consumables, samples, etc. many other goods, food supplies or spare parts can be transported automatically from room to room between users, or to and from the storage areas. The partially automated transport chains move containers and equipment on euro-pallets (can be fully loaded) using a friction-locked conveyor system. While at sea, goods can be transported from one location to another on board without the need for operating personnel. Suitable conveyor systems and equipment are also provided on board for moving containers from one end of the ship to the other. By automatically logging the conveyor processes and goods underway, almost no manual bookkeeping work is required to manage the stores and consumed goods. All of these measures serve to relieve staff and scientists from time-consuming ancillary activities. This aspect naturally

helps to make the ship more economical in operation. The development of such a complex system is unique amongst maritime operation throughout the world.

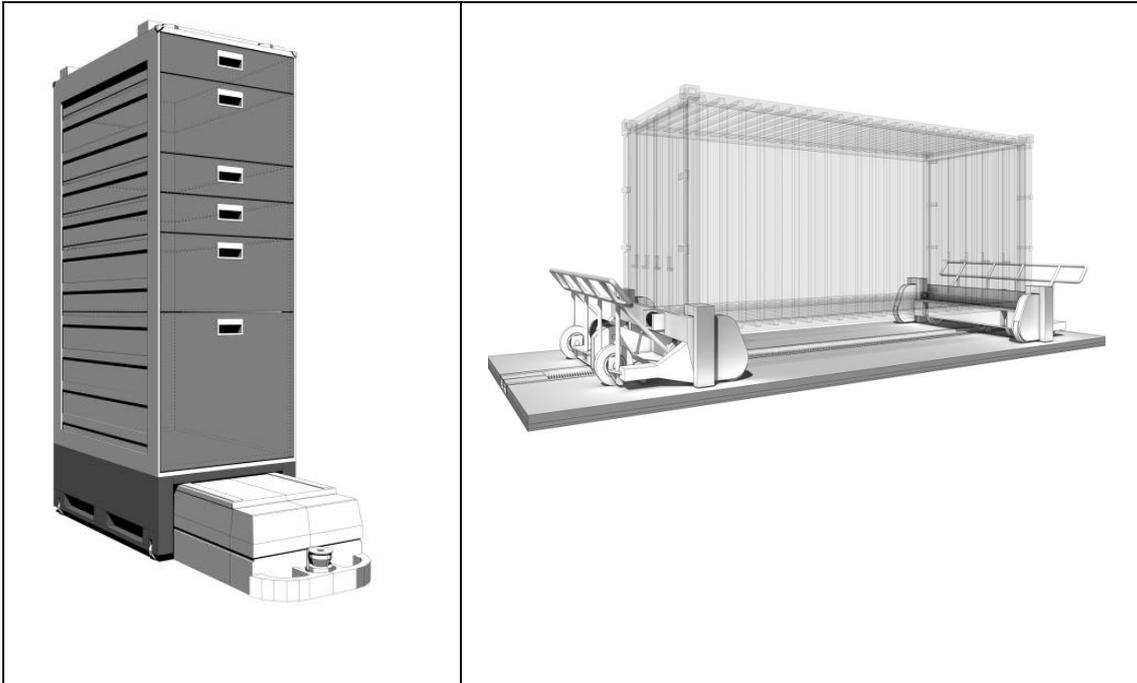


Fig. 15: Visualisation of transport system. Left: Stacked rack with automatic transport modules and automatic content controlling. Right: Seaworthy container transportation unit.

4.1.14 Combination of transporting and stacking functionality

The partially automatic logistics and transport system with its data acquisition and controlling of internal ship goods is used not only to convey scientific supplies and samples but also for the many other goods on board such as food supplies, spare parts etc. These goods and equipment are conveyed in containers using fully or partially automated flight conveyors in the storage rooms. Here, the automated system logs the contents of containers and manages aspects such as reorders and external orders.

The containers have been designed so that they can be used directly in the stores and food supply rooms as shelf bays and pigeon holes. Thus, there is no need for conventional shelf systems in these rooms. The containers are fitted with transport wheels and brakes so that they can be secured seaworthy at their storage positions.



Fig. 16: Visualisation of example for stacked racks in supply and storage area.

4.2 Model tests on icebreaking and open-water cruises

One of the main goals of the towing tests was to provide quantifiable proof that the ship concept is able to perform dynamic positioning while being in drifting sea ice. Accordingly, the transit icebreaking capabilities were also to be verified and the accompanying open-water tests were carried out to determine performance data during manoeuvres and sea-keeping tests. Thus, the theoretical calculations and prognoses had to be validated.

The model tests were divided into two groups with different concentrations and with some overlapping of the work performed at the AARC (Helsinki) and HSVA (Hamburg) facilities.

4.2.1 Aker Arctic Research Center (AARC)

- Calculated prognosis of realistic ice pressures
- Calculated prognosis of transit icebreaking capability
- Transit icebreaking 2 m, 2.5 m, 3 m in closed ice and headway and sternway in ice floes
- Breaking of ridges, headway and sternway

- Breakout and turning circle test in closed ice
- Inclined towing test 2 m, 2.5 m, 3 m in closed ice as well as in ice floes with various heading angles (0° to 50° headway) to measure ice forces in dynamic positioning analyses
- Inclined towing test 2 m in closed ice as well as in ice floes with various heading angles (130° – 180° headway) to measure ice forces in dynamic positioning analyses

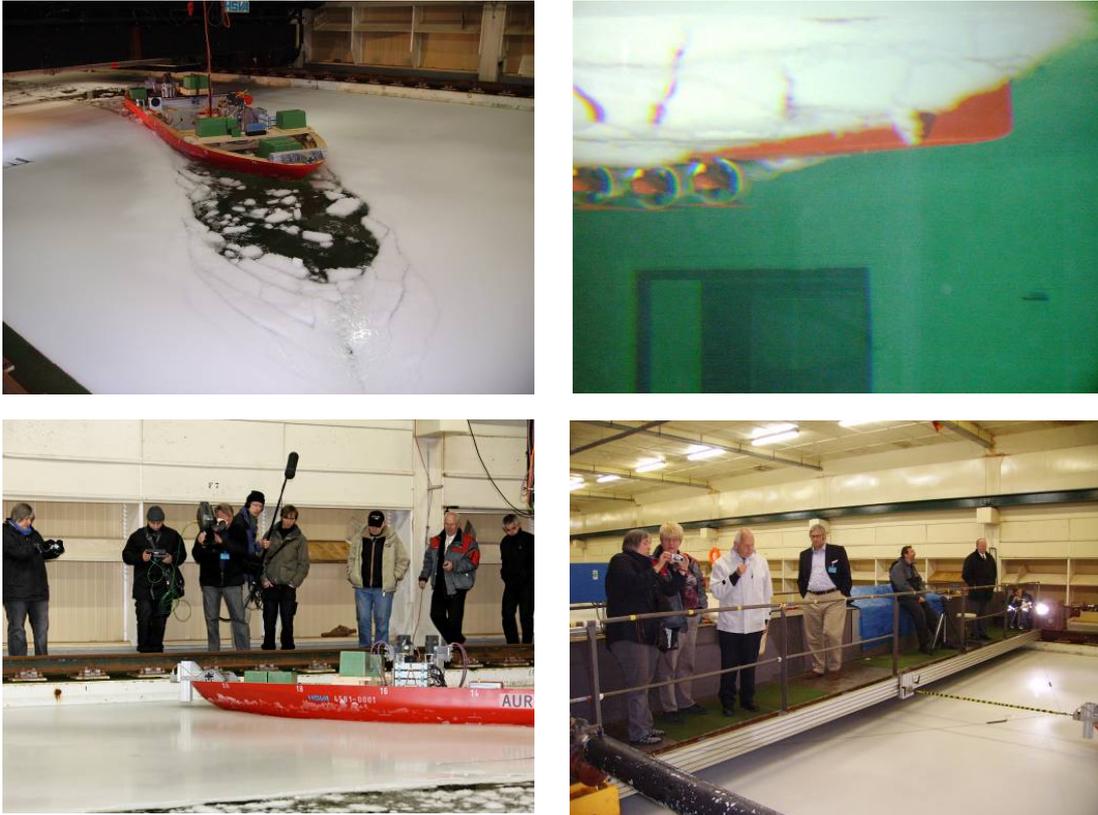


Fig. 17: various ice tank experiments performed at AARC and HSVA.

4.2.2 Hamburg Ship Model Basin (HSVA)

- Calculated prognosis of realistic ice pressures
- Calculated prognosis of transit icebreaking capability
- Resistance tests
- Propulsion tests
- Wake measurements
- Manoeuvring tests
- Seaworthiness tests
- Transit icebreaking 1 m, 1.5 m, 2 m in closed ice and headway and sternway in ice floes

- Breaking of ice rubble fields, headway and sternway
- Breakout and turning circle test in closed ice
- Dynamic positioning tests in drifting ice with free moving model
- Inclined towing test 1 m in closed ice as well as in ice floes with various heading angles (0°, 5° and 10° headway) to measure ice forces in dynamic positioning analyses
- Simulation of forced rolling and pitching for controlled increase of ice-breaking capability at extremely slow speeds in dynamic positioning mode

4.2.3 Summarised results of model tank tests

The towing tests show that the design of AURORA BOREALIS represents an optimal compromise for a research icebreaker with drilling facilities:

- Ship has very good icebreaking capabilities in transit mode
- Ship is able to position itself dynamically in drifting ice
- Seaworthiness and manoeuvring capability of ship is good

Marginal improvements to the ship's design and hull lines were discovered only for a few localised areas and have been added to design and tender documents.

4.3 Rules and recommendations, ice pressures and strength of ship hull

The strength of the ship hull as well as the technical marine equipment and other machinery have been dimensioned and configured in strict accordance with Germanischer Lloyd and Lloyds Register classification societies for the highest polar class PC1. These apply correspondingly for all ten member societies of the International Association of Classification Societies (IACS) including the Russian register of shipping. Furthermore, the increased ice pressure distribution levels of the AURORA BOREALIS are based on the results of a most recent international research study performed by the US Coast Guard, Japanese National Maritime Administration and HSVA. These ice pressure distribution levels are larger than the current classification guidelines for icebreakers. At the same time, the "Winterization" guidelines from Lloyds Register have been checked and agreed upon together with the classification society and have been taken into full account in the design.

An external independent report on "Winterization" was completed by Lloyd's Register for AWI using the existing design documentation.

4.3.1 Superstructure design and heavy arch frame on superstructure deck as sideways protection of ship against damage from ice shelf edges

In addition to the strength of the main hull, this versatile icebreaking, drilling and research ship requires – in addition to optimally positioned drilling and research moon pools – a deckhouse appropriate to the task at hand. The bow is well designed and consists of a long raised forecastle with a bulwark installed on top. These offer optimal protection for the front wall of the superstructure as well as for the cargo and containers stored on deck.

Water at the stern side are stopped by a small poop deck equipped with an additional bulwark. This poop deck with the removable parts of the stern chute has been designed in accordance with icebreaking requirements.

Very high strength arch frames are installed at the respective ends of the superstructures to strengthen them in athwartship direction and also serve as sideways protection. With the planned strength, the ship would be able to plane off eventual ice protrusions if needed during mooring on a high ice shelf. Not only do the arch frames protect the superstructure, they also protect the lifeboats, disembarkation spaces and other search and rescue equipment. The side towers also contain central stairwells, elevators and the mandatory escape routes.

4.4 Innovations

The following innovations have been developed for AURORA BOREALIS:

- Balcony shape of hull for all-around icebreaking.
- Heeling and trimming tank concept for controlled icebreaking at very low speeds.
- Dynamic positioning in ice.
- Design of ship hull strength for “omnidirectional icebreaking”.
- Atrium concept for optimum scientific work and transfer of lab containers into moon pool area.
- Drilling rig tower design as weather-proof work area.
- Double stern chute with cover piece for icebreaking.
- Elevated bridge with all-around view for navigation in ice.
- Heavy arch frame on superstructure deck as sideways protection of ship against damage from ice shelf edges.
- Maintenance and disassembly of transverse thruster in assembly shafts with transportable hoisting gear.
- Transport system in ship for automated transportation (without accompanying personnel) on board.

4.5 Patented inventions

Even though most new designs of special-purpose ship types typically require specific development work, patentable inventions are nonetheless quite rare in most cases. The design of the AURORA BOREALIS was innovative in so many aspects that, in addition to the specific project innovations outlined in the previous section 4.4, two important patentable ideas were developed. Patents have been applied for the following:

- Atrium concept with cupola roof and lab containers (see section 2.2)
- Heeling and trimming tank concept for controlled icebreaking at very low speeds (see section 4.1.8)
- Transport system in ship (see section 4.1.13)

The developments listed in sections 4.4 and 4.5 can be implemented immediately into other new vessel designs.

4.6 Usability of the development results for design and operation of ships in polar regions

In summarising, it can be stated that the AURORA BOREALIS sets trends in icebreaking technology, dynamic positioning, scientific drilling technology, multi-disciplinary maritime research, energy generation and exhaust heat recovery as well as in maritime operation technology. The AURORA BOREALIS contains leading technology that can directly be adapted for other applications in commercial shipping and the offshore industry, particularly in polar Arctic regions.

5. SHIP CONSTRUCTION COSTS AND BUDGETING

Anticipated costs:	790 million € as of early 2008/2009
Anticipated operating costs:	40 million € per year

A highly detailed construction cost estimate was completed for AURORA BOREALIS with prices for 2008/2009. The quantity structure cumulates to a total construction cost of approximately € 790 million, whereby the cost projections for incidental wharf expenses, insurances and expected earnings have yet to be confirmed. About 59% of the assumed costs were determined by prices stated by professional suppliers. Since some of the equipment has not yet been specified, a price margin of 3% of the construction costs was deemed sufficient. Furthermore, an additional 2% was calculated as a reserve. Since a large portion of the equipment was specially developed for the ship and future implementations will have to be redeveloped, and since some of the prices are based on list prices or scaled price assumptions, the expected price margin of the ship is currently about $\pm 10\%$ of the total construction costs.

5.1 General cost calculation summary

5.1.1 Introduction

This chapter describes the budgetary cost estimation carried out within the framework of the Engineering Contract for the Tender Design of AURORA BOREALIS and provides the summarized final results.

The prices were estimated based on European shipbuilding standards and practices. That means the construction cost estimates consider the productivity with relation to fabrication and the related man-hour rates with West-European average values. Potential suppliers of main components and special one-off equipment or very particular components have been asked for their actual price indications whenever possible. However, the replies were limited due to the impacts of the ongoing financial unclear economic situations for many of these companies.

In general it has to be acknowledged that the European shipyards have only limited production facilities and experience for the processing of required special steels with enormously high material thicknesses according to IACS heaviest ice class PC1, i.e. special steels need preheating for welding with adequate high technology welding methods.

The cost estimate was structured in 10 main groups. All these groups were subdivided again into prices for many hundreds of building materials, components and outfit plus related man hour costs and other expenses for construction. For the cost calculation itself a company owned, proprietary professional estimation spreadsheet was used. The spreadsheet itself cannot be delivered due to intellectual property rights.

All the groups and sub-groups have been collected and presented in the summary sheet as shown in section 5.3 and 5.6. The process of budgetary cost estimation has been described to allow shipyards and shipbuilding experts to understand and validate the content and the precision of the presented budget figures.

The purpose of the detailed spreadsheet is to identify the individual calculation components and to reliably quantify the appropriate calculation steps.

5.1.2 Specialities

Different productivity factors (hours/tonne) have been applied for the processing of steel in the various areas of the ship and for the application of different grades of steel and materials. The pipe fabrications have also been calculated with different working hours (h/m) for the various pipe diameters and thickness.

Material purchase overheads have been considered with 26%.

External processing overheads have been considered with 15%.

The costs for material and equipment as well as the labour costs have been based on price levels for 2008/2009 and must be understood with price increases for yearly escalation rates for the year of application.

5.1.3 Cost factors

Costs have been calculated in the following manner:

Labour costs = Working hours x Hourly rate

Working hours based on: professional experience and subsequent estimates:

- Hourly rates based on: average values, requested from miscellaneous shipyards (wage rates can be different from trade to trade)
- Material cost: costs for consumables taken from shipyard stores, based on actual material prices (consumables will be charged with material purchase over heads)

External costs: costs for consumables, engines and equipment ordered specially for the project, based on professional experience, actual material prices, suppliers offers etc. (Externals will be charged with external overheads). Indication of man-hours involved in external costs for equipment have been considered with the assumption of 65% of equipment costs and labour costs divided by average man-hour rate.

Project Specials: cost for items like financing, insurances etc., based on experience, estimation and calculation methods.

5.2 Hourly rates

The following rates have been considered:

Project Management	90,00 €
Design	80,00 €
Process Engineering	80,00 €
Mechanical + Electrical	60,00 €
Steel	60,00 €
Mock-up's	70,00 €
Transportation	42,00 €
Cleaning, Guards	26,00 €

5.3 Main fabrication groups

The cost estimation has been split into the different **Main Fabrication Groups (MFG)**, which again have been further subdivided into different **Fabrication Groups (FG)**.

- MFG 0: Shipyard fundamentals like management, finances, insurances, designing, planning, tests, trials etc.
- MFG 1.1: Hull steel material and fabrication
- MFG 1.2: Hull outfitting, painting, insulation etc.
- MFG 2: Main propulsion plant incl. auxiliaries and controls
- MFG 3: Electric plant incl. auxiliaries, controls, cabling etc.
- MFG 4: Ship's service installations incl. auxiliaries, piping, controls etc.
- MFG 5: Ship's navigation and external communication systems
- MFG 6: Drilling outfit incl. necessary equipment
- MFG 7: Permanent scientific equipment incl. arrangements, foundations etc.
- MFG 8: not applicable
- MFG 9: Inventory, consumables, spares and tools

5.4 Additional special cost items

a) BUYER'S Administration, Supervision, Financing and Insurances (have not considered)

b) Temporary Installed Equipment:

- Loose Seismic Equipment and
- Laboratory Tools and loose Equipment
 - Together a preliminary lump sum of 3.0 Mio. EURO has been considered
- 12,000 m Drill Pipes (6 5/8"), Bits etc. including storage have been considered
- Two (2) Temporary Seismic Air Compressors, preparation for installation have been considered

c) Helicopters are not considered but might be as follows:

EC 135 P2+, basic offshore type (max take-off weight 2910kg) incl. load winch and cargo sling for approximately 4,500,000 €

Alternative: EC 145 (BK 117 C2) basic offshore type (max take-off weight 3350kg) approximately 5,600,000 €

BA 609, VTOL aircraft approximately 17,000,000 €

These budget figures are for information only. It is recommended to hire such facilities including crew from specialised service suppliers.

d) Any ROV and related control devices have not been considered

5.5 Resume

The total calculated sum of the cost contained following total working hours:

- Shipyards fabrication and installing 4.0 Mio. hrs
- Indication of man-hours implied in supplies 4.1 Mio. hrs

5.6 Statistical overview

MFG	Description	Material		Extern [%]	Special [%]	Costs [€]
		Wages [%]	Yard [%]			
0	Fundamentals	42.09	0.24	14.38	43.29	69,360,125
1.1	Hull	77.60	22.40			187,360,966
1.2	Fixed Outfitting	12.97	8.24	78.71	0.08	95,475,403
2	Machinery Plant	15.18	5.25	78.96	0.61	111,263,310
3	General Electrical Design	4.34	0.70	94.08	0.88	54,580,750
4	Ships Service Installation	25.68	9.39	64.74	0.19	92,362,279
5	Navigation & Communication	1.84	0.36	95.86	1.93	19,352,982
6	Special Equipment - Drilling	1.75	0.81	97.41	0.02	63,636,042
7	Perm. Scientific Equipment	4.08	2.11	92.78	1.03	45,121,493
8	N/A					
9	Inventory, Spares and Tools	3.67	5.43	90.68	0.23	13,976,631
						752,363,980
3 %	Undefined Material, Wages					22,570,919
2 %	Margin					15,047,280
End Sum						789,982,179

5.7 Remarks

The accuracy of this price estimate is according to shipbuilding practice for budgetary price finding. Approximately 59% of the assumed costs have been based on price indications from professional suppliers. Due to the various so far undefined items it was considered that a price adjustment of 3% might be an adequate.

6. SUMMARY OF PROJECT RESULTS

6.1 Implementation of requirements and specifications

The required icebreaking performance, dynamic positioning in ice as required for drilling, two separate moon pools in the hull – one for drilling and one for research equipment – were successfully implemented in the SCHIFFKO PRV 200 design, which involved comprehensive planning including practical towing tests in an ice tank with appropriate models.

The requirements, as defined in the specifications, were fully realised throughout the 16-month development phase with an unusually high number of feedback loops in the design process. Development work has been completed on this highly innovative new ship with its complex scientific and marine technology.

6.2 Main dimensions

Vessel type	Multipurpose research vessel, deep sea drilling vessel Heavy icebreaker with highest IACS polar class: PC1
Duration of expedition	90 days
Personnel (crew/scientists)	120
Accommodation	in 74 single cabins, 23 double cabins
Length overall (LOA)	199.85 m
Length between perpendiculars (LBP)	174.27 m
Maximum moulded beam	49.00 m
Beam at waterline (BWL) 13 m	45.00 m
Light service draught	11.50 m
Icebreaking draught	13.00 m
Maximum draught	13.25 m
Moulded depth to working deck	17.75 m
Height of forecastle (bow)	24.75 m

Payload for 13 m draught	approx.	15,500 t
Displacement 13 m draught	approx.	64,500 t
Displacement 13 m draught*)	approx.	63,000 t
HFO/MDO tank capacity	approx.	12,300 m ³
MDO additional capacity	approx.	500 m ³
Lubricating oil capacity	approx.	500 m ³
Fresh water with day tank	approx.	1,300 m ³
Ballast water capacity	approx.	19,500 m ³
Heeling tank capacity	approx.	3,600 m ³
Trimming tank capacity	approx.	3,600 m ³
Cruising speed		15.5 knots
Maximum speed	approx.	20.0 knots
Range depending on profile		10,000 nmi or 90 days

*) Displacement with lost buoyancy due to flooding of moon pools, sea chests, transverse thruster tunnels and shafts for extendible propulsion units.

Propulsion type	Diesel-electrical	
Total generator capacity	approx. 94 MW (electrical power generated for entire ship),	
Number of generator units	8 plus harbour and emergency generator – recovery of exhaust heat, emission control	
Main propulsion units	3 x 27 MW max.	
Solid propellers against ice	3 x 6.5 m in diameter, reinforced	
Transverse thrusters (bow + stern)	2 x 3 extendible units; position fixed in transverse direction; of these one unit both fore and aft as transverse thrusters in retracted position.	
Propellers	6 x 4.5 MW 4.14 m diameter in nozzle with 5.30 m diameter	
Dynamic positioning in ice	In drifting ice with thicknesses up to 2.5 m as well as in open water	
Container capacity	32 pcs. 20' containers in moon pool area 48 pcs. 20' containers in cargo hold, 6 pcs. 20' containers on compass platform <u>and up to</u> 40 pcs. 20' containers on working deck	

66 pcs. 20' containers on long forecastle.

Alternatively, up to 77 units of 40' containers can be stored on the outer deck instead of 20' containers.

Crane equipment on outer deck

The cranes have been positioned for common use on board as well as for scientific work and this is shown in the general plan. Additional auxiliary cranes can be added to the final design. The main cranes are to be equipped with articulated cantilevers so that goods and devices can be moved without swinging. The cranes also include 2 sliding bars for scientific work performed over the side of the ship and another one for work at the ship bow. A powerful A-frame is provided for work over the stern. Various sickle cranes are provided on board for hoisting items.

Helicopter facilities Aircraft

1 x Bell Agusta BA609 Tiltrotor VTOL

2 x Bo 105 / EC 135 helicopters or
type equivalents

Emergency helipad on forecastle
Helicopter deck with fully equipped
Instrumental Landing System (ILS)
Helicopter fuelling system, hangar

Scientific disciplines and equipment

Geology (with drilling), geophysics, oceanography, biology with deep-sea research, glaciology, meteorology/atmospheric physics and bathymetry

Drilling rig tower (height)

80.75 m above keel or 63 m above
working deck

Max. drilling depth

1000 m into sediment at max. 5000 m
water depth

Scientific echo-sounders

Deep sea multi-beam echo-sounder
with 1 x 1 degree resolution, sub-
bottom profiling echo-sounder, others
as needed.

Winch gear

Numerous friction and winding winches permanently installed for wires, electrical and fibre optic cables are protected against environmental effects in a central winch room. From this room, all wires, electrical and fibre optic cables are fed to the hoisting and lowering gears at the moon pools, side working deck or stern A-frame.

The entire working deck is fitted with a grid with an intermediate layer of wood where all other temporary winches can be set up for scientific work. This gear includes streamer winches and winches for hoisting large piston and Kasten corers. This allows winches and other hoisting gear to be set up in a versatile and optimal manner.

6.3 Ship specification and tender documentation

The complete set of the AURORA BOREALIS ship specification, including all technical drawings, the general arrangement plan, test tank results, subcontractor reports, and full documentation has been reported to the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) upon termination of the project and is stored for further reference at the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research in Bremerhaven. Further disclosure of parts or the total of these documents is pursuant to regulation by and upon the discretion of the BMBF, represented through the Director of the Alfred Wegener Institute for the time being until further notice.

6.4 Editors' Notice:

This English part is the updated and authoritative version of the official AURORA BOREALIS Technical Summary Report. This version has been edited for readability and correction of minor errors and was amended by the cost calculation overview that was originally provided as separate document. This English part is based on and closely resembles the older original German version (part B of this AWI Report) that was delivered upon the completion of the engineering and design works.

B. TECHNISCHER ABSCHLUSSBEREICH – DEUTSCHE ERSTVERSION

7. AUFGABENSTELLUNG UND ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE IM ÜBERBLICK

Im Dezember 2007 erhielt die SCHIFFKO vom Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung den Auftrag, ein vollkommen neuartiges Forschungsschiff zu entwickeln. Das AURORA BOREALIS Projekt erhielt den Arbeitstitel SCHIFFKO PRV 200. PRV steht für Polar Research Vessel und die 200 deutet auf die Gesamtlänge des Schiffes hin.

Während der gesamten Bearbeitungszeit haben die Entwurfsingenieure und Senior-Experten insbesondere für die Bereiche Maschinenkonzept, Dynamisches Positionieren und Eisbrechen mit dem Projekt-Sonderteam des AWI als AURORA BOREALIS Team intensiv zusammengearbeitet. In regelmäßigen Abständen wurden ganztägige Projektsitzungen zum Informationsaustausch und für die erforderliche Feinabstimmung durchgeführt. Zur detaillierten Erarbeitung von Anforderungsprofilen an das Schiff seitens der wissenschaftlichen Disziplinen wurden mehrere Arbeitstreffen mit entsprechenden Experten durchgeführt. Ergebnisprotokolle liegen von allen Gemeinschaftssitzungen vor.



Abb. 18: Informationstreffen mit der AWI-Projektleitung und Wissenschaftlern



Abb. 19: Arbeitsbesprechung am 8. April 2008

7.1 Aufgabenstellung

Der Wissenschaftsrat, als höchstes deutsches unabhängiges Wissenschaftsgremium, hat die Empfehlung für den Bau des Eisbrechenden Forschungs-Bohrschiffes AURORA BOREALIS auf europäischer Ebene ausgesprochen. Die technische Machbarkeit wurde im Rahmen der normalen Risiken, die mit der Entwicklung innovativer Technologien verbunden sind, in einer technischen Machbarkeitsstudie nachgewiesen und in der Stellungnahme des Wissenschaftsrates vom 22.6.2006 anerkannt. Der Wissenschaftsrat empfahl jedoch, zusätzlich zu der begutachteten technischen Machbarkeitsstudie vor Baubeginn noch weitere Entwicklungsarbeiten und Modellversuche durchzuführen, die insbesondere die Leistungsfähigkeit des Eisbrechens, die für das Bohren unabdingbare dynamische Positionierung im Eis, sowie die Realisierung von zwei Stück „Moon-Pools“ im Schiffsrumpf betreffen, den einen für das Bohren und den anderen für den Betrieb von Forschungsgeräten. Hierzu wurde vom BMBF ein Projekt unter der Leitung des Alfred-Wegener-Institutes für Polar- und Meeresforschung genehmigt, in dem umfassend die vom Wissenschaftsrat benannten Aufgaben bearbeitet werden sollten. Weiterhin sollte der komplette Schiffsentwurf, einschließlich der dazugehörigen wissenschaftlichen und schiffstechnischen Anlagen soweit fertig gestellt werden, dass er als Grundlage für eine international ausschreibungsfähige Spezifikation dienen kann, die von der europäischen Managementebene für die Ausschreibung zum Bau des Schiffes benötigt wird.

Diese Anforderung wurde in der Entwicklungszeit der vergangenen 16 Monate vollständig mit einer ungewöhnlich hohen Zahl von Entwurfsschleifen in dem Projekt SCHIFFKO PRV200 mit großem Erfolg umgesetzt. Die Entwicklung dieses technologisch in vielen Punkten neuartigen Schiffes mit seinen komplexen wissenschaftlichen und schiffstechnischen Einrichtungen wurde inzwischen abgeschlossen.

Zeichnungen und Berechnungen wurden erarbeitet wie in Position 5.3 „Schiffspezifikation und Ausschreibungsunterlagen“ aufgelistet. Weiterhin wurden folgende Einzelberichte erstellt:

- Überlegungen zur Antriebskonzeption mit Darstellung von Alternativen hinsichtlich Anordnung und Energieerzeugung (Propulsion Concept).
- Konzeption eines "Zitadellenbereiches" als Überlebenszentrum im Katastrophenfall mit autarker Energieversorgung.
- Umweltanalysen-Bericht, Emissionsrichtlinien Antriebe, Blauer Engel
- Konzept zur Bekämpfung von Black Frost.
- Schallschutzkonzept unter der Berücksichtigung der wissenschaftlichen Anforderungen für ein Schiff mit einem sehr niedrigen eigenen Geräuschpegel für akustische bzw. seismische Messungen.
- Konzept für die Isolierung des Schiffskörpers bezüglich der einzuhaltenden Randbedingungen wurde als Zeichnung erstellt.

- Konzept für das wissenschaftliche Bohren im Eis bzw. polaren Regionen.
- Konzeption der dynamischen Positionierung im offenen Wasser und in Eis bzw. Eisdrift (Dynamic Positioning Concept).
- Modellversuche für den Nachweis der Eisbrechfähigkeiten und als Grundlage für die technische Konzeption der dynamischen Positionierung und der dafür benötigten baulichen Komponenten.

Ferner wurden die folgenden Berichte der beauftragten Firmen abgeliefert:

a) HSVA-Berichte:

- Bericht zu den Ice Loads (Rechenprognose) „Computation of Short-term Ice Loads Distributions“
- Bericht Manövrieren
- Bericht Nachstrom
- Bericht Seegangsverhalten
- Bericht Widerstand/Propulsion im offenen Wasser
- Bericht Transit/Drehkreis/Ausbrechen/Oblique im Eis

b) AARC-Berichte:

- Bericht Hull Ice Loads (Rechenprognose)
- Bericht zu den Transit-, Drehkreis-, Ausbrech- und Schrägschleppversuchen im Eis

Während bei der HSVA die Versuche zur Dynamischen Positionierung mit einem ferngesteuerten, frei fahrenden Modell ausgeführt wurden, erfolgten diese Versuche bei AARC mit einem am Messwagen eingespannten Modell. Diese unterschiedlichen Simulationen und Methoden der Messtechnik ergänzten einander vortrefflich.



Abb. 20: Visualisierung der AURORA BOREALIS im Eis.

7.2 Zusammenfassung

Schon an dieser Stelle wird bestätigt, dass die vom Wissenschaftsrat verlangten Nachweise über erfolgreiches Eisbrechen von wenigstens 2,5m Eisdicke, sowie das dynamische Positionieren mit den dafür entwickelten teilautomatisierten Trimm- und Krängungseinrichtungen mit dem SCHIFFKO PRV 200 – Konzept voll erbracht werden konnten. Das gilt auch für die Ausführung der beiden verschließbaren Moon-Pools mit deren Integration in die Schiffsverbände.

Ansonsten liegen die besonderen Neuheiten des Entwurfes in der Antriebskonzeption mit energiesparendem und umweltfreundlichem Power Management, der Möglichkeit des dynamischen Positionierens im Eis, um unter Eisbedingungen Bohren zu können, den optimal integrierten multifunktionalen Forschungseinrichtungen und der Entwicklung eines bordeigenen Transportsystems. Viele der von den Ingenieuren für das AURORA BOREALIS Konzept entwickelten Ideen werden in der Zukunft auch für die kommerzielle Schifffahrt bestens verwertbar sein, hierzu gehören u. a. Wärmeenergieerückgewinnung, Power Management, neuartige teilautomatisierte Transportsysteme an Bord mit integrationsfähiger Software für Materialwirtschaft (Lagerhaltung, Wartung und Logistik), Eisbrechtechnologie und zugehöriges dynamisches Positionieren zum Bohren in polaren Regionen. Erfreulicherweise stand für alle Fragen der Propulsion und des dynamischen Positionierens ein langjährig verbundener Senior-Experte zur Verfügung, der als Sonderberater seit Beginn des dynamischen Positionierens im Offshore-Bereich für fast alle neu entwickelten, selbstangetriebenen Plattformen für die großen Ölgesellschaften beratend tätig war.

Vom Schiffstyp her muss man AURORA BOREALIS als einen schweren Eisbrecher (vergleichbar mit den stärksten Eisbrechern der Welt), als ein multifunktionales Forschungsschiff für alle marinen Forschungsbereiche und als ein

wissenschaftliches Bohrschiff zur Gewinnung von Bohrkernen aus der Tiefsee bezeichnen. AURORA BOREALIS ist eine gelungene Kombination aus allen drei Schiffstypen.

Das Schiff wurde für den Forschungseinsatz in der gesamten Arktis sowie auch für die Antarktis und für die dazwischen liegenden eisfreien Meere inklusive der warmen tropischen Gewässer konzipiert und entwickelt.

Während die Eisbrecher der in den Polarregionen gelegenen Staaten die Aufgabe haben, die Handelswege entlang der Küstenzonen für die Schifffahrt offen zu halten, soll AURORA BOREALIS als einziger geplanter schwerer Forschungseisbrecher eigenständig und ohne Begleitung während jeder Jahreszeit möglichst weit zu eisbedeckten Tiefseebecken vordringen können, um dort an den entlegenen Stellen der polaren Ozeane Bohr- und Forschungsarbeiten auszuführen. Diese anspruchsvollen Einsätze sind gegenwärtig weltweit mit keinem anderen eisbrechenden Schiff realisierbar. Alle Einrichtungen des Schiffes sind dementsprechend auf Sicherheit und Zuverlässigkeit mit größter Redundanz ausgelegt. AURORA BOREALIS hat in weiten Bereichen eine dreifache Außenhaut. Sie ist durch wasserdichte Längs- und Querschotte sicher unterteilt und besitzt Feuerzonen mit entsprechenden Treppenhäusern mit sicheren Fluchtwegen. Sie hat redundante Energie-Erzeugungsanlagen in vollständig voneinander getrennten Maschinen- und Schalttafelräumen.

Die Rohrsysteme und Kabeltrassen sind für die erhöhte Sicherheit so angeordnet, dass bei Flutung oder bei Feuer der Schiffsbetrieb aufrechterhalten wird. Der Ausfall einzelner Komponenten und Systeme gefährdet zu keinem Zeitpunkt das Leben an Bord und hat auch nicht unmittelbar den Abbruch einer Expedition zur Folge.

AURORA BOREALIS wurde für eine maximale Besatzungsstärke von 120 Personen ausgelegt, die in 74 Einzelkammern und 23 Doppelkammern jeweils mit eigenen Sanitärzellen unterkommen. Alle Unterkünfte befinden sich an den Außenseiten des Aufbaus und haben Tageslicht.

Die Kombination von drei Spezialschiffen in einem einzigen Entwurf führte letztendlich zu den definierten Schiffsabmessungen, dem Aussehen und zu den unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten mit entsprechenden Investitions- und Betriebskosten. Diese optimierte Kompakteinheit stellt für das gesetzte Anforderungs- und Einsatzprofil die geringsten Schiffsabmessungen dar, wobei Raumbedarf, Funktionsintegration, Leerschiffsgewicht und Zuladung mit der entwickelten Rumpfform in Einklang gebracht wurden. Das Schiff könnte nicht kleiner realisiert werden, ohne wesentliche geforderte Einsatzprofile oder Rahmenbedingungen zu opfern, die Alleinstellungskriterien darstellen.

Für AURORA BOREALIS wurde eine sehr spezielle Rumpfform entwickelt, die es erlaubt, mindestens 2,5 m dickes und sehr festes mehrjähriges Eis in kontinuierlicher Fahrt von etwa 3 kn zu brechen und auch Eisrücken von bis zu 15m Höhe durch Rammen zu überwinden und in der Drift von mindestens 2,5 Meter dicken Eisflächen dynamisch für die Bohroperation zu positionieren. Das Schiff

ist zur Bewältigung solcher extremen Einsätze und Hindernisse konzipiert und ausgerüstet.

Um den besten, schnellsten und kostengünstigsten Weg durch das Eis finden zu können, besitzt AURORA BOREALIS vielfältige Möglichkeiten der Eisbeobachtung, angefangen mit den sehr hoch gelegenen Eisbeobachtungspositionen auf der Brücke, im Krähenest und dem Beobachtungsraum hoch oben im Bohrturm, alles in Kombination mit einer ausreichenden Anzahl von leistungsstarken Eisscheinwerfern. Weitere Möglichkeiten bestehen durch Luftaufklärung mit eigenen Hubschraubern, schiffeigenen Eis-Radarsystemen und nicht zuletzt über die Bordwetterwarte mit den Satellitenbeobachtungen und Wetterprognosen.

Bei vorwärts und rückwärts Fahrt darf das gebrochene Eis weder die Vortriebs- und Manövriereinrichtungen blockieren, noch die Moon-Pool-Verschlüsse beschädigen oder die großen Tiefseefächerlote im Boden abdecken oder gar beschädigen. Die Schiffsform wird bewirken, dass die gebrochenen Eisschollen weggespült werden und sich nicht als zusätzlicher Widerstand am Schiffsrumpf aufbauen können.



Abb. 21: Spezielle Rumpfform mit Vortriebs- und Querstrahleinheiten

Zusätzlich zu den Fähigkeiten in der Eisfahrt, muss AURORA BOREALIS auch als Forschungs- und Bohrschiff in den eisfreien Ozeanen unter allen Wetter- und Seegangsbedingungen eine stabile Arbeitsplattform sein und es ermöglichen, durch die Moon-Pools oder über die Seite und das Heck zu jeder Zeit wissenschaftliche Gerätschaften ausbringen zu können.

AURORA BOREALIS ist durch all diese Anforderungen technisch ein einzigartiges Schiff, das, wie bereits erwähnt, als Kombination eines Eisbrechers, Bohrschiffes und Mehrzweck-Forschungsschiffes für den Einsatz in polaren Gebieten und in der offenen See zu allen Jahreszeiten geeignet ist. Mit diesem Schiff wird es somit erstmals möglich sein, ganzjährige Expeditionen in die extremsten, bisher kaum erforschten Regionen unserer Erde durchzuführen und damit Erkenntnisse über die Erdgeschichte, die klimatische Entwicklung und die heutigen Umwelteinflüsse der Polargebiete zu erhalten.

Die Entwurfparameter sind deshalb ungewöhnlich umfangreich und komplex, deren Verifizierung bzw. die Optimierung der entwickelten Rumpfform war nur durch breit angelegte Modellversuche für alle Einsatzprofile möglich. Es wurden sehr umfangreiche Modellversuche in den Eistanks bei Aker Arctic Technology in Helsinki und in den diversen Einrichtungen bei der Hamburgischen Schiffbau Versuchsanstalt durchgeführt. Die gesammelten Messergebnisse waren für die Entwurfsingenieure die Grundlage und Bestätigung ihrer Ideen und Entwicklungsarbeit an diesem anspruchsvollen Spezialschiff.

In den Polargebieten der Arktis und Antarktis werden Lufttemperaturen von bis zu minus 50 °C angetroffen. Bei diesen niedrigen Temperaturen ist der herkömmliche Schiffbaustahl als Baumaterial für das Schiff zu spröde. Die vorgesehenen Sonderstähle mit ihren bis zu 70 mm dicken Platten und umfangreichsten Aussteifungen sind schwierig und aufwendig zu verarbeiten. Die exponierten Tanks für Ballast- und Frischwasser müssen beheizt werden, damit sie nicht einfrieren. Auch der Treibstoff muss stets beheizt werden, damit er nutzbar bleibt. Wissenschaftliche Arbeiten sollen bis zu minus 30°C auf den Außen-decks ausgeführt werden können. Dies bedeutet, dass die Flächen der Arbeitsdecks, die Türen und Luken, die Hebezeuge, der Bohrturm mit seinen Maschinen und Ausrüstungen, die gesamte wissenschaftliche Decksausrüstung, die Luft in den Unterkünften oder die Verbrennungsluft für die Stromerzeuger allesamt beheizbar sein müssen. Die nautische Decksausrüstung wird durch ihre Anordnung unterhalb geschlossener Decks allzeit funktionsfähig gehalten - ohne zusätzliche Beheizung. Die Anforderungen an die schiffsseitigen Systeme stellen in den Tropen das andere Extrem dar, wo die Schwierigkeiten darin bestehen, bei 32°C Seewasser ausreichend Kühlung für Maschinen, Geräte und Personen zu bewirken.

Für den Vortrieb von AURORA BOREALIS wurde eine Drei-Propeller Anlage mit eisverstärkten feststehenden Propellerflügeln in Verbindung mit einem Mittelruder gewählt. Insbesondere bei sehr festem Mehrjahres-Eis kann so die gesamte Antriebsleistung über robuste Propeller und geschützte Propellerwellensysteme in der Transit- und Forschungsfahrt, sowie in der Vorwärts- und Rückwärtsfahrt beim Rammen wirkungsvoll und ohne großes Beschädigungsrisiko eingesetzt werden. Alle drei Propelleranlagen können für diese extremen Eisbedingungen eine Leistung von je 27.000 kW aufnehmen. Vergleichbare Propelleranlagen findet man generell auf schweren Eisbrechern mit großen Propulsionsleistungen. Bei geringeren Eisdicken und Eisfestigkeiten, auf Transitstrecken oder in der Forschungsfahrt im offenen Wasser wird nur ein Bruchteil dieser

Leistung benötigt. Hier wird das Schiff mit nur wenig Antriebsleistung und geringen Betriebskosten betrieben.

Drehbare Propelleranlagen mit Steuerwirkung, wie zum Beispiel Azimuthing Thruster oder POD-Antriebe, kommen für AURORA BOREALIS nicht zur Anwendung. Gründe hierfür sind, dass die realisierbaren Leistungsgrößen dieser Einheiten nur einen Bruchteil der notwendigen Propulsionsleistungen erbringen können, dass diese Einheiten aufgrund ihrer Bauart keine ausreichende Eisverstärkung gemäß höchster Eisklasse erbringen können und dass die Anfälligkeit der Einheiten mit dem Sicherheitskonzept nicht vereinbar ist. Hier mussten gegenüber dem Vorprojekt wesentlich robustere Propulsionslösungen gefunden werden.

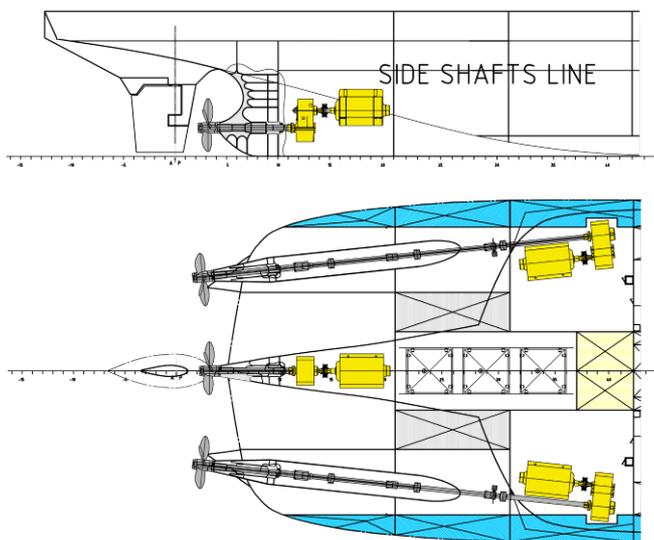


Abb. 22: Robuste und erprobte Propelleranlagen für den Vortrieb

Von großer Bedeutung für dieses multidisziplinäre Forschungsbohrschiff ist die Eigenschaft, sich autark in die extremen Eisgebiete der Pole hineinzubewegen, um das Schiff dann dort für das Bohren unter schwersten Eisverhältnissen mit der erforderlichen Genauigkeit über eine lange Zeit auf Bohrposition halten zu können. Die ist gegenwärtig mit keinem anderen Schiff weltweit möglich.

Um das Bohren im Eis durch einen Moon-Pool zu gewährleisten, wurde das dynamische Positionieren in Drift-Eis aus dem Ruhestand, d.h. das Halten der Position durch Einsatz von leistungsstarken und robusten Manövriereinrichtungen, entwickelt - eine Weltneuheit.

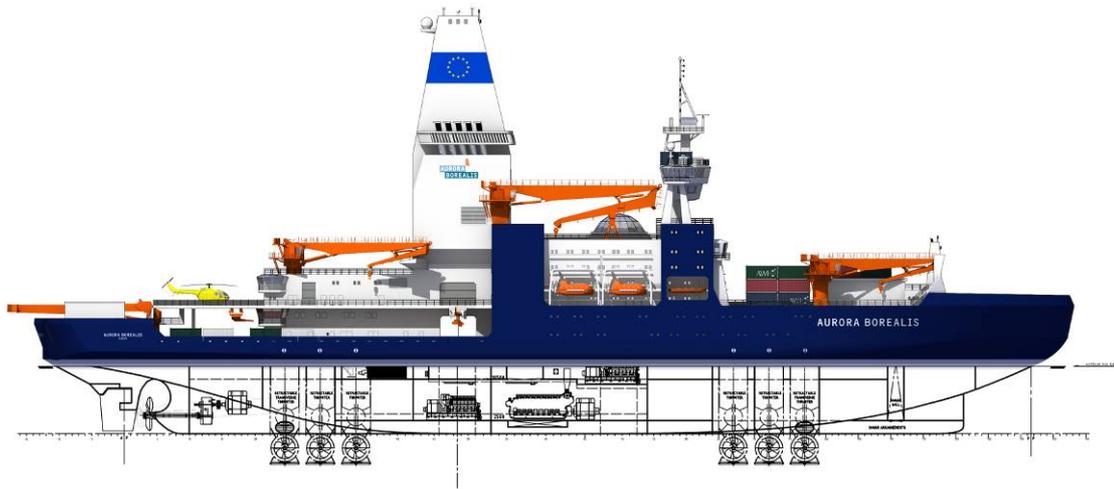


Abb. 23: Querstrahleinheiten achtern und vorn zum Dynamischen Positionieren

Damit dies so funktionieren kann, musste das Schiff zusätzlich zu seinen 3 Hauptantrieben mit insgesamt 6 Querstrahlanlagen - jede mit über 4500 KW Leistung – ausgerüstet werden, die vor Ort in der Eisregion ausgefahren werden können. Im Normalzustand befinden sich diese Antriebe im geschützten Bereich des Schiffes. Sie können nach oben hin in vorhandene Reparaturzonen oberhalb des Hautdecks gefahren werden oder auch durch entsprechende mit Lukendeckel verschlossene Schächte ganz von Bord genommen werden. Jeweils ein Querstrahler hinten und vorne werden im eingefahrenen Zustand aktiv als Manövrierhilfe genutzt. Außerdem ist es möglich, diese ausfahrbaren Querstrahler um 90 Grad gedreht umzusetzen und als Hilfsantriebe für Heimfahrten zu nutzen für den Fall, dass die Hauptpropeller, aus welchen Gründen auch immer, ausfallen.

Das dynamische Positionieren im offenen Wasser mit Gegenschub zu Wind, Wellen und Strömung mittels drehbarer Antriebe, so genannter Azimuthing Thrusters, wird bei Bohr- und Hilfsschiffen der Öl- und Gasindustrie seit vielen Jahren erfolgreich betrieben. Die auftretenden Reaktionskräfte lassen sich hier relativ leicht berechnen und durch entsprechende Schubimpulse kompensieren. Ganz andere Herausforderungen bestehen beim Halten der Position in einer durch Wind und Gezeiten verursachten großflächigen Eisdrift, um bei Wassertiefen zwischen 100 und 5000 m noch mindestens weitere 1000m störungsfrei in den Meeresboden bohren zu können. Dieses wird noch dadurch erschwert, dass sich die Drift des Eises in der Richtung häufig und schnell verändern kann und das Eis unterschiedliche Dicken, Festigkeiten oder Presseisformen besitzt. Es benötigt auch Zeit, das bis zu 6000 m lange Bohrgestänge zu stecken, zu bohren, die Bohrkern zu bergen, und das Gestänge wieder aufzunehmen.

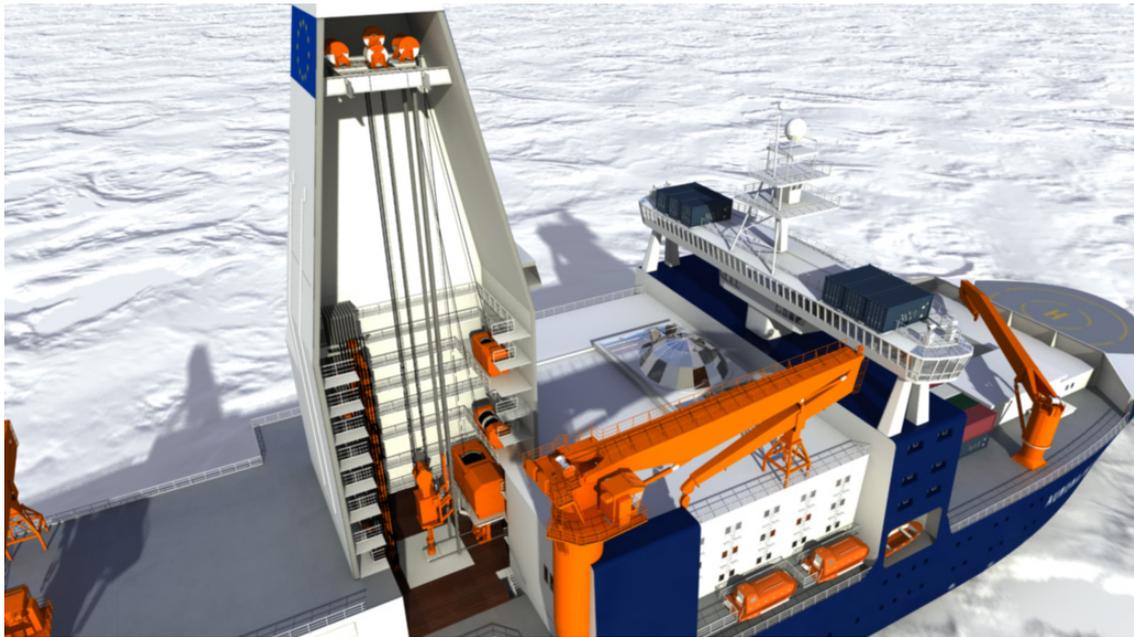


Abb. 24: Blick in den „geöffneten“ Bohrturm.

AURORA BOREALIS darf beim Bohren keinen Schwung holen um mit Geschwindigkeit auf das Eis zu fahren und Eis zu rammen wie in der Transitfahrt. Dies wäre katastrophal für den Bohrvorgang und die dabei im Gebrauch befindliche Ausrüstung. Das Schiff muss also somit Position halten können, während langsam das umgebende Eis herankommt. In einer derartigen Situation werden die Hauptantriebe in Kombination mit den kräftigen Querstrahlanlagen das Schiff gegen das Eis drücken. Das reicht letztendlich aber immer noch nicht. Nun kommt zusätzlich noch die speziell für dieses Schiff konzipierte Ballastwassertankanlage zum Einsatz. Durch einen teilautomatisierten Bewegungsablauf wird der Bug rhythmisch entsprechend der Geschwindigkeit der Eisdrift mal angehoben und mal gesenkt. Damit wird praktisch die zum Eisbrechen benötigte Geschwindigkeit simuliert. Das ganze Manöver wird durch gesteuerte aktive Krängungsbewegungen unterstützt. Beide Vorgänge zusammen werden dabei durch die besondere Formgebung des Rumpfes verstärkt.

Für ein möglichst ungestörtes Arbeiten hat das Schiff für das Fahren im offenen Wasser eine spezielle Form des Rumpfes. Für die Reduzierung der Rollbewegungen wird neben der bereits erwähnten Krängungsanlage eine zusätzliche Flossenstabilisierungsanlage eingesetzt. Das gute Seegangsverhalten wurde im Versuchstank mit einem formgenauen Modell nachgewiesen.

Die unterschiedlichen Einsatzbedingungen und Aufgaben von AURORA BOREALIS ergeben ein sehr großes Spektrum an erforderlichem Leistungsbedarf für den Schiffsantrieb, das Manövrieren und Positionieren, das Bohren, den Betrieb von Hebezeugen, Druckluftkompressoren und wissenschaftlichen sowie schiffstechnischen Geräten. Zur wirtschaftlichsten und flexibelsten Energiebereitstellung erhält AURORA BOREALIS eine diesel-elektrische Energieerzeugung mit insgesamt 94 MW elektrischer Leistung. Ein maßgeschneidertes Power-Management System steuert die Leistungsanforderung und Lastverteilung

der benötigten 8 Generatorsätze unterschiedlicher Größe. Dabei werden die Diesel-Motoren in Kombination immer in optimalen Lastbereichen für einen minimal möglichen Treibstoffbedarf gefahren. Zu jeder Zeit wird die Abgaswärme der Motoren maximal ausgenutzt, um in den Abgaskesseln Thermalöl zu erwärmen und Dampf zu erzeugen für die Erwärmung der Luft für die Klimaanlage, der Verbrennungsluft, der Beheizung von Arbeitsdeckflächen, der Eingangstüren usw. Grundsätzlich erfolgt eine Energie-Rückgewinnung auch aus der verbrauchten Luft, bevor die entsprechenden Restmengen gesäubert und heruntergekühlt zurück in die Umwelt gehen. Um die Betriebskosten des Schiffes mit Bezug auf die hohen Brennstoffkosten so gering wie eben möglich zu halten, können auf den unterschiedlichen Fahrtbereichen wahlweise Schweröl oder Marine Diesel Öl gefahren werden, wobei aber alle einschlägigen Vorschriften zur Reinhaltung der Luft, so auch die von der IMO erst ab 2016 geltenden Emissionsverordnungen vom Schiff erfüllt werden. Hier wurden im Entwurf alle Optionen offen gehalten, um die zukünftigen Entwicklungen bezüglich Schwefelanteilen im Brennstoff gegenüber den erforderlichen Betriebskosten des Schiffes folgen zu können und um den „Blauen Engel“ als äußerst umweltfreundliches Schiff erhalten und behalten zu können. Die dieselektrische Energieerzeugung bietet auch den Vorteil eines deutlich leiseren Schiffes, was für wissenschaftliche Messungen wesentliche Bedeutung hat.

Die Hauptabmessungen von AURORA BOREALIS werden durch diverse Faktoren bestimmt. Die Schiffslänge ergibt sich aus der überhängenden Länge des Vorschiffes für das wirkungsvolle Eisbrechen mit seinen Tanks für Stampfbewegungen, den Platzbedarf für die sehr großen Sende- und Empfängerflächen der Fächerlote im Bodenbereich vor den drei vorderen Querstrahlern, den beiden Moon-Pools, den drei hinteren Querstrahlern, den Vortriebseinheiten und dem Ruder, bzw. dem Eisbrechheck mit den dazwischen liegenden komplexen Maschinenräumen. Dieses ergibt nach mehreren Entwurfs- und Optimierungsschleifen eine Gesamtlänge von 200 Metern.

Die größte Breite wurde mit 49 m auf die maximal zulässige Schiffsbreite für den neuen Panama Kanal festgelegt. Diese große Breite hat sich mit seiner speziellen Form beim Eisbrechen als optimal herausgestellt. Sie erhöht außerdem die notwendige Stabilität für ein ruhiges und sicheres Arbeiten mit dem großem Bohrturm und den hohen Topgewichten und Windlasten.

Der Tiefgang des vollständig ausgerüsteten Schiffes mit 15.000t Bunkern und Zuladung, inklusive 2.000t für wissenschaftliches Gerät, beträgt max. 13,25 Meter, wobei der Leertiefgang knapp über 11 Metern liegen wird.

Die Höhe des Arbeitsdecks beträgt 17,75 Meter über Kiel und für das wissenschaftliche Arbeiten von Deck aus zwischen 4,75 und 6 Metern über der Wasserlinie.

Das Schiff hat eine lange hohe Back und ein erhöhtes Hinterschiff zur größeren Sicherheit bei rauer – auch nachfolgender – See, wobei die seitlichen Eisbrechanten (Balkone) positive Auswirkungen auf das Seeverhalten haben. Markant sind bei AURORA BOREALIS auch die breiten seitlichen Deckshaus-

Verstärkungen und „Eisabweiser“ in Bügelform. Diese dienen zum Schutz des Schiffes mit seinen außen liegenden Ausrüstungen, sollte es an einer Schelfeiskante anlegen müssen.

Ebenso prägend für das Aussehen des Schiffes ist der große geschlossene Bohrturm, in dem alle Tätigkeiten wettergeschützt durchgeführt werden. Die gesamte Bohrtechnologie über und um den hinteren Moon-Pool mit funktionaler Einbindung des Arbeitsdecks und des Rig Floors sowie der Bohrkern Handhabung und Auswertung wurden entsprechend den Anforderungen des IODP („Integrated Ocean Drilling Program“) gestaltet. Die Laboranordnung wurde auf die funktionellen Arbeitsabläufe abgestimmt und optimiert. Der Bohrturm mit allen Einrichtungen, Plattformen und einer Seegangsfolgeeinrichtung wurde für die Handhabung auch von zusammengekoppelten Bohrstangen zu 30 Meter Einheiten aus vertikalen Vorratsmagazinen für 6000 m Bohrgestänge ausgelegt. Das Reservegestänge wird in Containern in 10 m Längen mitgeführt und im Bohrturm bei Bedarf semiautomatisch auf die erforderlichen Längen zusammengesetzt.

AURORA BOREALIS ist optimal ausgerüstet für alle Forschungsaktivitäten der Geologie, Geophysik, Ozeanographie, Biologie, Glaziologie, Meteorologie und weiterer Fachdisziplinen. Hierfür stehen neben den überproportional großen Flächen auf dem freien Arbeitsdeck rund um den vorderen Moon-Pool großräumige Laborbereiche mit entsprechenden Deckenhöhen zur Verfügung. Die Anzahl der Stellplätze für Laborcontainer, Kühlcontainer für Bohrkern und Proben, Proviant- und sonstige Vorratscontainer beläuft sich auf ungefähr 190 Stück insgesamt.

Neben den Möglichkeiten für das Ausbringen von wissenschaftlichen Geräten steht im wettergeschützten Bereich der vordere Moon-Pool zur Verfügung. Um diesen ebenfalls 7 x 7 m großen Brunnenschacht sind über mehrere Etagen Laborräume und Stellplätze für 32 mobile Laborcontainer in einem Atrium angeordnet. Eine transparente Kuppel über dem Schacht mit prismatischer Lichtumlenkung sorgt für optimale energiesparende Beleuchtung mit Tagesatmosphäre. Diese Abdeckung ist für das Einbringen von Containern und größeren Geräten verschiebbar. Die Zugänglichkeit zum Moon-Pool in verschiedenen Ebenen erlaubt wissenschaftliches Arbeiten auf jedem der Decks.

Durch beide Moon-Pools können nicht nur beliebig große Geräte sondern auch ROVs und andere empfindliche Instrumente eingesetzt werden. Innerhalb des klimatisierten Atriums und im geschützten Bohrturm mit großer Arbeitshöhe bietet sich der Forschung der ideale und eisfreie Zugang zu den Ozeanen. Überall stehen die erforderlichen Hebezeuge und Schiebebalken zur Verfügung mit den zugehörigen Forschungsdrähten und Kabeln. Die Winden hierzu stehen zentral und geschützt in einem eigenen Windenraum.

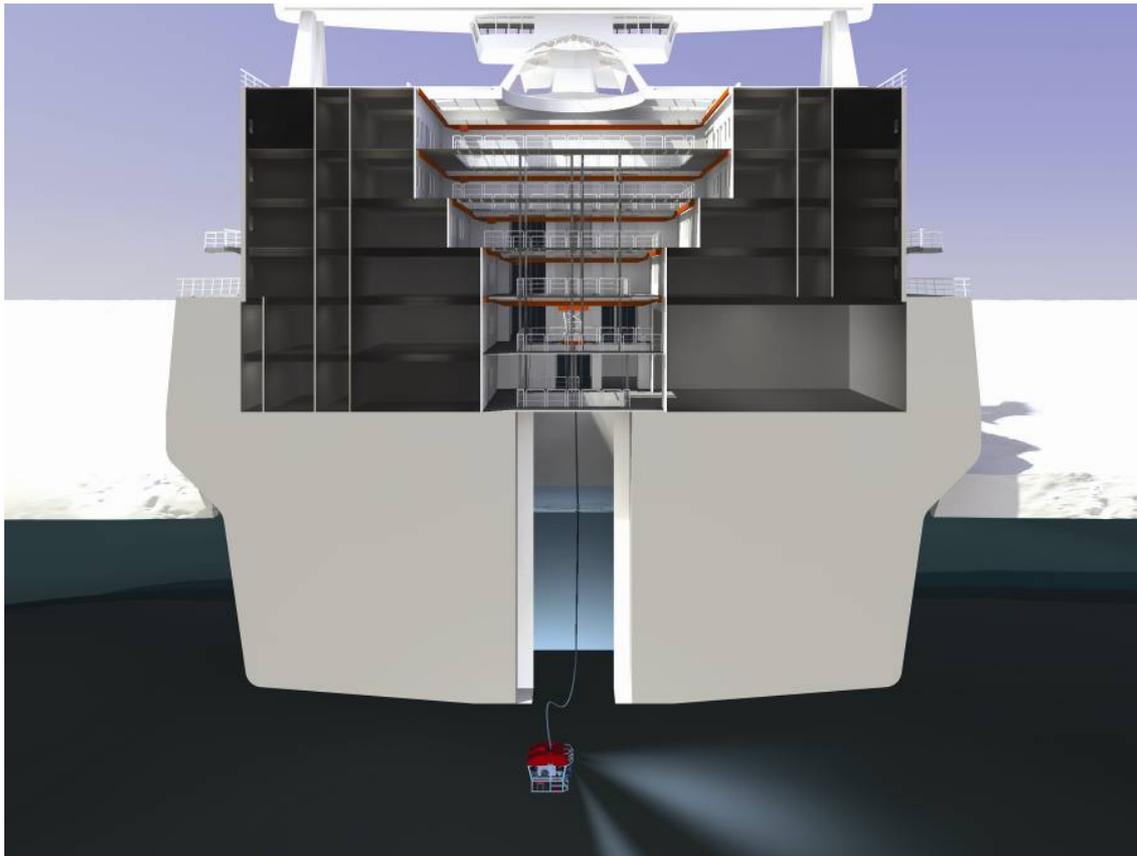


Abb. 25: Vorderer Moon-Pool mit Atrium und Lichtkuppel sowie seitliche Eisbrechbalkone.

Für Arbeiten über das Heck zum Schleppen und Aufnehmen von Geräten steht eine Doppel-Heckaufschleppe zur Verfügung. Der ganze Bereich wird beim Eisbrechen durch ein entsprechend kräftiges Füllstück geschlossen.

Das Schiff soll einen sog. Tiltrotor oder VTOL Flugzeug (Vertical Take-Off and Landing) bzw. Hubschrauber mit entsprechendem Hangar und Landeinrichtung erhalten. Die Hauptlandeplattform liegt im hinteren Schiffsbereich. Zusätzlich ist auf dem Vorschiff ein Notlandeplatz vorhanden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass AURORA BOREALIS in der Eisbrechtechnik, der dynamischen Positionierung, der wissenschaftlichen Bohrtechnik, der multi-disziplinären Forschungsschifffahrt, der Energieerzeugung und Abgaswärmenutzung sowie in der Schiffsbetriebstechnik richtungweisend ist. AURORA BOREALIS ist ein Technologieträger, von dem bereits heute Adaptierungsmöglichkeiten für die kommerzielle Schifffahrt und die Offshore-Industrie, insbesondere im arktischen Polargebiet bestehen.

Für AURORA BOREALIS wurde eine sehr detaillierte Baukostenschätzung mit Preisbasis 2008/2009 durchgeführt. Die Aufsummierung des Mengengerüsts ergibt eine Bausumme von ca. Euro 790 Mio., wobei jedoch unbestätigte Kalkulationsansätze bei den Preisanteilen für Werft Nebenkosten, Versicherungen und Gewinnerwartungen bestehen. Ungefähr 59% der angenommenen Kosten wurde durch Preisangaben von professionellen Anbietern ermittelt. Wegen der

verschiedenen derzeit noch nicht definierten Ausrüstungen wurde eine Marge von 3% der Baukosten als ausreichend in Preis berücksichtigt. Weiterhin wurden weitere 2% als Reserve veranschlagt. Da ein Großteil der Ausrüstung speziell für das Schiff und den zukünftigen Einsatz neu entwickelt werden müssen, teilweise die Preise auf Listenpreisen oder auf skalierten Preisannahmen basieren, ist eine Schiffspreisungenaugigkeit derzeit von ca. 10% der Bausumme zu erwarten.

Das Projekt AURORA BOREALIS wurde am 03.12.2008 in Berlin der Öffentlichkeit sowie zahlreichen Vertretern aus Wissenschaft und Politik vorgestellt. Das Schiff und seine zukünftigen Aufgaben erzeugten sehr großes öffentliches Interesse im In- und Ausland, dass innerhalb weniger Tage ca. 150 Artikel in der allgemeine Presse und zahlreiche Veröffentlichungen in Magazinen und Fachzeitschriften erschienen. Diese Publikationen wurden durch weitere Fachvorträge bei Wissenschafts- und Industrieverbänden flankiert.



Abb. 26: Präsentation am 03.12.2008 in Berlin.

8. AUFGABENSTELLUNG

8.1 Hauptaufgaben gemäß ursprünglichem Lastenheft

Grundlage für die Projektierung von AURORA BOREALIS waren die nachfolgend aufgeführten Randbedingungen, zu deren Erreichung sowohl umfassende Projektierungsleistungen als auch praktische Schleppversuche im Eistank mit entsprechenden Modellen erbracht und durchgeführt werden mussten. Die bewirkten Abweichungen werden nachstehend beschrieben.

Vom Schiffstyp her soll AURORA BOREALIS als schwerer Eisbrecher konzipiert werden, der bezüglich seiner Eisbrechfähigkeit mit den stärksten bekannten Eisbrechern vergleichbar ist.

Vom Einsatzzweck her soll AURORA BOREALIS ein multifunktionales Forschungsschiff für alle marinen Forschungsbereiche werden, einschließlich einer kompletten Bohrausrüstung mit Bohrturm zur Gewinnung von Sedimentkernen aus dem Meeresgrund.

Das Schiff soll für einen ganzjährigen Forschungsbetrieb in der Arktis und in der Antarktis ausgelegt werden. Das schließt auch die Möglichkeit einer Überwinterung während einer Forschungsfahrt mit ein. Überwinterung bedeutet in diesem Sinn – das Schiff liegt fest an einer Scholle, oder treibt im Eis, ohne eigene Fahrt voraus.

Die Nutzungsdauer des Schiffes soll 40 Jahre betragen.

Die Eisdicke, die in kontinuierlicher Fahrt gebrochen werden muss, soll mindestens 2,5 m betragen. Die dabei zu erreichende Geschwindigkeit soll abhängig von der Härte des Eises sowie den sonstigen Randbedingungen sein. Die Mindesteisdicke, die für den Bohrbetrieb gebrochen werden muss, ist identisch mit der o.a. Mindesteisdicke.

Die Dienstgeschwindigkeit des voll abgeladenen Schiffes soll im offenen Wasser mindestens 15,5 kn betragen.

Die Antriebsanlage soll als redundante Anlage in zwei getrennten Abteilungen ausgeführt werden, ebenso die Maschinenanlage bezüglich der für den Schiffsbetrieb unbedingt notwendigen Systeme. Dieses entspricht den höchsten Anforderungen zur Aufrechterhaltung des Schiffsbetriebes gemäß DP 3.

Umweltbedingungen:

- Minimale Lufttemperatur, bis zu der bei Beachtung aller Sicherheitsanforderungen wissenschaftlich gearbeitet werden kann: minus 30°C

- Maximale Lufttemperatur, bis zu der alle Geräte uneingeschränkt betriebsbereit sein müssen: plus 45°C
- Minimale Lufttemperatur für den Bohrbetrieb: minus 25°C
- Minimale Lufttemperatur bis zu der der Schiffsbetrieb mit Einschränkungen aufrechterhalten wird: minus 50°C
- Maximale Lufttemperatur für den Schiffsbetrieb: plus 45°C
- Minimale Seewassertemperatur für den Schiffsbetrieb: minus 2°C
- Maximale Seewassertemperatur für den Schiffsbetrieb: plus 32 ° C
- Maximal anzunehmende Windgeschwindigkeit: 85 kn
- Maximale Windgeschwindigkeit bis zu der wissenschaftlich gearbeitet kann: Windstärke 7 bis 8 Bft, abhängig von den eingesetzten Geräten und den konkreten Wind- und Seebedingungen.
- Relative Luftfeuchtigkeit: bis 90%

AURORA BOREALIS soll eine komplette Bohranlage mit Bohrturm für das Bohren von wissenschaftlichen Bohrkernen erhalten.

Der Bohrbetrieb soll voraussichtlich während 3 Monate, vermutlich in den Sommermonaten, sowohl in der zentralen Arktis als auch in der Antarktis durchgeführt werden.

Maximale Wassertiefe: 4.000 m. Bohrungen bis zu 5.000 m Wassertiefe sollen technisch möglich sein. Mindest-Bohrtiefe unterhalb Meeresboden: 1.000 m.

Folgende Wissenschaftsbereiche müssen beim Schiffsentwurf sowohl hinsichtlich der technologischen Abläufe als auch der benötigten wissenschaftlichen Ausrüstung berücksichtigt und eingeordnet werden: Geologie (einschließlich Bohren), Geophysik, Ozeanographie, Biologie mit Tiefseeforschung, Glaziologie, Meteorologie/ Atmosphärenphysik und Bathymetrie.

Der ständige Einsatz eines zum Schiff gehörenden mittelgroßen ROV' s ist zu berücksichtigen.

Das Schiff soll für das Bohren und den Betrieb wissenschaftlicher Geräte 2 Stück Moon-Pool, beide mit den Abmessungen 7,0 x 7,0 m, erhalten.

Es soll eine maximale Besatzungsstärke von 120 Personen vorgesehen werden.

Für die Unterbringung sollen 80 Einzelkammern mit Sanitärzelle und 20 Doppelkammern, ebenfalls mit Sanitärzelle vorgesehen werden. Zusätzlich soll im Brückenbereich eine Lotsenkammer berücksichtigt werden.

Die maximale Container-Stellplatzkapazität soll 160 x 20' Container und 20 x 40' Container für das Bohrgestänge betragen.

Zusätzlich müssen auf dem Peildeck mindestens 4 Stellplätze für wissenschaftliche 20'- Container angeordnet werden. Das Maximalgewicht beträgt pro Container 8 t.

Für einen ständigen Einsatz während des Forschungsbetriebes, einschließlich des Bohrbetriebes, sollen 2 Stück Helikopter mit den dazugehörigen Anlagen und Systemen vorgesehen werden. Stellplätze sollen für mindestens 3 Stück Helikopter vorhanden sein.

Zusätzlich zu einer Krängungsausgleichsanlage soll AURORA BOREALIS eine Flossenstabilisierungsanlage erhalten.

Die wissenschaftliche (lose) Zuladung soll 2.000 t betragen bei einer Gesamttragfähigkeit von 15.000 t. Darin soll die komplette Bohrausrüstung für 3 Monate und die komplette wissenschaftliche Ausrüstung für weitere 4 Monate enthalten sein, einschließlich der dazugehörigen Verschleiß- und Ersatzteilkapete.

Eine im Heckbereich vorgesehene Heckschleppe muss mit einem Füllstück, das Außenhautstruktur besitzt, verschlossen werden können.

Als Kraftstoffqualität wird Marine Diesel Oil (MDO) in den polaren Einsatzgebieten empfohlen. Für die langen Transitstrecken soll optional Schweröl in guter Qualität (d.h. geringer Schwefelgehalt, geringe Verkokungsneigung etc.) gefahren werden können.

8.2 Korrekturen an den Anforderungen während des Schiffsentwurfes

Während der ersten Entwurfsschleifen wurden die Hauptabmessungen des Schiffes definiert und die Anforderungen gemäß dem maximalen Tiefgang für die Abreise des Schiffes mit vollen Bunkern auf 11,00m optimal berücksichtigt. Für das Eisbrechen wurde ein Tiefgang von 13,00m gewählt, um mit so genannten „Tauchzellen“ die schrägen Seitenwände des Schiffes im Eisgürtel wirkungsvoll einsetzen zu können. Die maximale Schiffsbreite wurde aufgrund der benötigten Querstabilität sowie der zulässigen Breite zur Durchfahrt des neuen Panama-Kanals auf 49,00m festgelegt und dazu die Völligkeit des Schiffes in der Rumpfform für das Eisbrechen optimiert. Die resultierende Schiffslänge über Alles betrug 224,00m und Länge zwischen den Loten 195,50m.

Zur weiteren technischen und finanziellen Optimierung des Entwurfes wurde die Aufgabe an die Entwurfsingenieure herangetragen, das Schiff kompakter zu gestalten und auf eine Gesamtlänge von maximal 200m zu reduzieren. Diese Längenreduzierung mit zusätzlicher Entwurfsoptimierung machte eine grundlegende und umfassende Projektüberarbeitung und damit verbunden verlängerten Bearbeitungszeitraum von zusätzlichen 3 Monaten erforderlich.



Abb. 27: Optimiertes Kompaktschiff mit Erfüllung sämtlich gestellter Anforderungen

Hierfür mussten auch die technischen Anforderungen seitens des Auftraggebers in einigen Punkten revidiert werden. Das Raumkonzept für eine geringere Schiffslänge machte die Variation weiterer Parameter wie folgt erforderlich:

- Der geringste Betriebstiefgang beträgt nun 11,50m.
- Der Dockungstiefgang beträgt 11,10m.
- Der Eisbrechtiefgang beträgt unverändert 13,00m.
- Die Eisbrechleistung für Winter und Sommer bei 2,5m dickem Eis beträgt 2 bis maximal 3 Knoten. Eisrücken von bis zu 15m wurden im Modellversuch erfolgreich durchfahren.
- Die maximale Wassertiefe für das Bohren wurde aufgrund jüngster Erkenntnissen der Wissenschaftler auf 5.000 m erhöht, mit einer Mindest-Bohrtiefe im Sediment von 1.000 m. Somit werden 6.000 m Bohrgestänge und weitere 6.000 m Reservegestänge vorgesehen.
- Für die Unterbringung wurden 74 Einzelkammern mit Sanitärzelle und 23 Doppelkammern mit Sanitärzelle akzeptiert.
- Die maximale Container-Stellplatzkapazität wurde mit 32 Stück 20' Laborcontainern im Moon-Pool Bereich, 48 Stück 20' Container im Laderaum, 6 Stück 20' Forschungscontainer auf dem Peildeck und 64 TEU (20' oder 40' Container) auf dem Arbeitsdeck bei Stauung in doppelter Lage, oder 88 TEU bei Stauung in drei Lagen, unter anderem auch für das Bohrgestänge. Das schließt die Lagerung der Bohrkern ggf. in Kühlcontainern mit ein. Die Gesamtzahl beträgt jetzt 192 FEU.

- Durch das innovative Atrium-Konzept können in den diversen Decksebenen um den vorderen Moon-Pool äußerst wirkungsvoll bis zu 32 mobile, für das jeweilige Forschungsvorhaben ausgerüstete Laborcontainer angeordnet, bzw. auch während des Fahrtabschnittes zusätzlich noch ausgetauscht werden. Durch die Gestaltung multifunktionaler permanent Laborräume unterschiedlichster Ausführung mit logistischer Ausrichtung für die jeweiligen wissenschaftlichen Disziplinen zu den freien Deckflächen, zu den Moon-Pools und dem Bohrturm mit seinen Einrichtungen, konnten auch für das verkürzte Schiff die erforderlichen Laborkapazitäten vollständig erbracht werden.



Abb. 28: Innovatives Atrium-Konzept mit Forschungs- und Beschickungsmöglichkeiten aus allen Decksebenen.

8.3 Die besonderen Herausforderungen des Projektes

Die besonderen Herausforderungen des Projektes sind bereits mit der sehr umfangreichen Aufgabenstellung und den Leistungsanforderungen definiert. Bisher gibt es kein Schiff, welches auch nur annähernd vergleichbare Aufgaben erfüllt und dem Planer verlässliche Vergleichsdaten oder Konzepte liefern konnte.

Die Herausforderungen können stichwortartig wie folgt aufgelistet werden:

- Die Kombination von 3 unterschiedlichen Schiffstypen in einem einzigen Entwurf.
- Ein in jeder Hinsicht sicheres Schiff zu entwickeln, welches autark in den entlegenen Polar-Regionen der Erde operieren kann.
- Das große Spektrum an Temperatur und Klimavorgaben für die Einsatzgebiete.
- Die Entwicklung von Strategien zum Eisbrechen und Dynamischen Positionieren in der Eisdrift bei geringster Fortbewegung mittels Trimm und Krängungstanks.
- Die Entwicklung von Moon-Pool Nutzungskonzepten sowie Moon-Pool Ausführungen mit Integration in die Schiffverbände.
- Die Entwicklung einer optimalen Schiffsform zum „Rundum-Eisbrechen“ und für die Aufgaben im offenen Wasser.
- Die Entwicklung eines effizienten Transportsystems an Bord.
- Die Anordnung und Auslegung einer Energieerzeugungsanlage mit geringsten Betriebskosten und Nutzungsoptimierung hinsichtlich Energierückgewinnung unter Beachtung höchster Umweltauflagen bei gleichzeitig minimalem Körperschall und Vibrationen.

8.4 Die besonderen Erfahrungen mit dem Projekt

Rückblickend kann gesagt werden, dass das Schiff durch eine hervorragende Projektleitung mit Weitblick systematisch in diversen Projektschleifen von einem Grobkonzept zeitgerecht und kontinuierlich immer weiter verfeinert wurde, wobei die Gesamtkonzeption sehr gradlinig und wirkungsvoll verfolgt wurde. Die Generalplanung mit Raumkonzepten, Volumen und Gewichtsabgleichen wurde durch diverse Konzeptuntersuchungen aus allen Planungsdisziplinen immer wieder hinterlegt. Das seit langem von den beteiligten Entwurfsingenieuren als Voraussetzung für das dynamische Positionieren vorausgesetzte Abtauchen auf eine entsprechende Form für das „Rundum-Eisbrechen“ im Zusammenhang mit einer neu entwickelten Trimm- und Krängungstechnologie hat sich als richtig und erfolgreich herausgestellt. Die ingenieurseitigen Annahmen der Experten wurden dabei immer weiter durch die umfangreichen Modellversuche und Berechnungen nachgewiesen und bestätigt, ohne dass die Notwendigkeit bestand, die Entwurfsgrößen von AURORA BOREALIS nennenswert zu beeinflussen und die Konzepte revidieren zu müssen. Mit der veränderten Aufgabenstellung wurde das Schiff unter Beibehaltung der Entwicklungskonzepte noch einmal technisch und finanziell endgültig optimiert und dabei äußerst kompakt auf unter 200m verkürzt.

9. DER ENTWURFSPROZESS

9.1 Sequenz Entwurfsansätze und Entwicklungsschleifen

9.1.1 Volumen, Gewichte, Hauptabmessungen

Um die Hauptabmessungen des Schiffes definieren zu können, war es wichtig, zunächst den Schiffskörper mit Aufbauten als Volumen mit Gewichtskoeffizienten für Stahl, Ausrüstung und Einrichtung zu definieren. Dazu wurden diverse Eisbrecher sowie die im Hause SCHIFFKO entstandene POLARSTERN vergleichend analysiert. In weiteren Entwurfsschleifen wurden die Gewichtskoeffizienten durch Flächengewichte der erarbeiteten Stahlstrukturpläne ersetzt und schließlich auch durch ein 3D Stahlstrukturmodell verifiziert, um auch die Lage des Gewichtsschwerpunktes mit größerer Genauigkeit bestimmen zu können. Für die Ausrüstungskomponenten und Einrichtungen wurden schrittweise die Projektannahmen gegen genaue Daten von Lieferanten ausgetauscht. Die Gewichte und deren Verifizierung wurden während der gesamten Projektlaufzeit immer wieder aktualisiert, um Planungsgenauigkeit zu erhöhen.

9.1.2 Raumkonzept und Gewichtsverteilung

Das Raumkonzept des Schiffes entstand schon zu Beginn, basierend auf den reichhaltigen Erfahrungen der SCHIFFKO mit der Planung und dem Bau von Forschungs- und Spezialschiffen. Für den Entwurf von AURORA BOREALIS war es das besondere Ziel, die Massen des Schiffes möglichst umfassend auf halber Schiffslänge und in Schiffsmittle zu konzentrieren. Damit sind die besten Voraussetzungen für einen möglichst günstigen Eigenträgheitsradius des Schiffes für das Eisbrechen und zum Dynamischen Positionieren unter Nutzung von Krängungs- und Trimm tanks gegeben. Das Prinzip des Tauchzellen-Systems in Kombination von seitlich überhängenden Eisbrechschrägen ergeben eine Schiffsförm, die ein „Rundum-Eisbrechen“ ermöglicht. Diese Konzept wurde von SCHIFFKO schon vor Jahren in Vorstudien für AURORA BOREALIS entwickelt und während der jetzigen Projektbearbeitung kontinuierlich auf der Grundlage der Modellversuche im Eistank verfeinert.

9.1.3 Moon-Pools

Die Moon-Pools, insbesondere der hinten gelegene Bohr-Moon-Pool, sollten sich möglichst nahe an der Drehachse des Schiffes befinden, um für das Dynamische Positionieren beim Bohren beste Voraussetzungen zu bieten. Aber auch der wissenschaftliche vordere Moon-Pool sollte möglichst nahe beim Wasserlinienschwerpunkt liegen, um nur minimalen Schiffsbewegungen ausgesetzt zu sein. Die beiden großen Moon-Pools haben das gesamte Raumkonzept für AURORA BOREALIS maßgeblich geprägt.

Über dem Bohr-Moon-Pool steht der Bohrturm mit seiner Technik und Maschinerie. In seiner unmittelbaren Umgebung sind die multi-funktionalen Geologie-

labore zur Analyse der Bohrkerne angeordnet. Der Bohrturm definiert infolge seines Gesamteinflusses auf die Luftströmungen auch die Lage der Abgastech-
nik für die Energieerzeuger. Die festgelegten Positionen der Abgasschächte wur-
den hinsichtlich ihrer zweckmäßigen Lage anhand eines 3D-Computermodells
rechnerisch einer ersten Analyse mit positivem Ergebnis unterzogen.

Die zahlreichen Kammern, Messen und Sozialräume befinden sich an den Au-
ßenwänden des Aufbaus, um von dort Tageslicht zu erhalten. Die Räume liegen
hier in einer optimal ruhigen Zone mit Bezug auf Schiffsbewegungen und Ge-
räusche aus Eisbrechen bzw. Bohren und Positionieren, bzw. auf Abstrahlun-
gen aus den Energieerzeugungsanlagen.

9.1.4 Weitere Informationen zur Raumkonzeption

Der vordere und hintere Schiffsbereich, angrenzend an die Moon-Pools, wird
von den großen Schächten mit den ausfahrbaren Querstrahlern geprägt. Diese
Manöviereinheiten können zur Wartung in Reparaturbuchten hochgefahren
werden oder sogar durch vorhandene Luken nach oben hin ganz ausgebaut
werden. Als eine weitere Sonderentwicklung sind bei AURORA BOREALIS die
Schächte im Zustand der eingefahrenen Querstrahler vollkommen geschlossen,
um störende Wirbel und Luftblasen, die für die empfindlichen Fächerlote Unge-
nauigkeiten bzw. Störmuster bei den Messungen bewirken, weitestgehend zu
vermeiden. Außerdem sind alle Lotwandler vor den vorderen Querstrahlern in
einem gesondert geformten Unterwasserschiff eingebaut. Achtern hinter dem
hintersten Querstrahler befindet sich der Fahrtmotor mit Wellen und Mittelpro-
peller und Ruder. Diese funktionalen Anordnungen bestimmen das Raumkon-
zept für dieses Sonderschiff.

Die jeweils äußeren Querstahlanlagen können im eingezogenen Zustand zu-
sätzlich als normale Querstrahler für das nautische Manövrieren benutzt werden.

Beim Entwurf wurde unmittelbar mit einer Unterteilung des Schiffes in optimale
Leckbereiche und kostengünstige Feuerzonenanordnung begonnen. Gleichzei-
tig wurde die Systeme von Lüftung und Klimabereichen, Brandschutz und Eva-
kuierungsmöglichkeiten mit durchgängigen Treppenhäusern einschließlich
Flucht- und Rettungswegen koordiniert aufgebaut.

Das Unterdeckraumkonzept wird geprägt von einem Raster aus Quer- und
Längsschotten mit einem Doppelboden und einer dreifachen seitlichen Außen-
haut für eine größtmögliche Sicherheit gegen Schäden von außen und umge-
kehrt - zur Vermeidung von Umweltschäden. Die sorgfältige und vielfache Un-
terteilung des Schiffes führt zur erhöhten Sinksicherheit sowie der umweltscho-
nenden und energiesparenden Anordnung von Tankraum bei gleichzeitiger Er-
höhung der strukturellen Festigkeit des Schiffskörpers. Die inneren Zellen bein-
halten die von einander getrennten und autark operierenden Maschinenräume
mit Stromerzeugern und Hilfsaggregaten, Schalttafel- und Kontrollräumen.

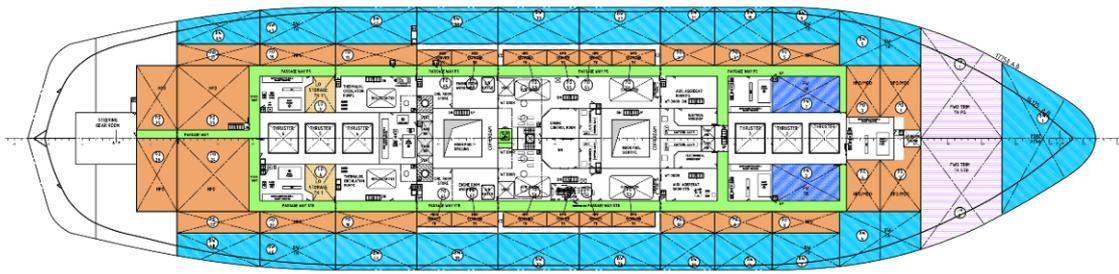


Abb. 29: Unterteilung des Schiffskörpers.

Ein erforderlicher großer zentraler Windenraum mit zahlreichen Friktions- und Aufspulwinden, von dem die Drähte, Kabel und Lichtwellenleiter relativ gradlinig zu den Einrichtungen der Moon-Pools und der Schiebebalken führen, ließ sich nur oberhalb des Arbeitsdecks, dafür aber ergonomisch optimal unterbringen.

Vorne befinden sich Unterdeck-Laderäume, die sich sowohl für Stückgut als auch für Beladung mit 20' und 40' Containern und vielseitiges Forschungsgerät eignen.

Ein sehr großes und geräumiges seitliches Arbeitsdeck erlaubt den Forschungsbetrieb über die Seite, wobei auch über das Heck mit zwei Heckaufschleppen gearbeitet werden kann. Die Heckaufschleppe kann und muss zum Eisbrechen in Rückwärtsfahrt geschlossen werden. Ein entsprechend stabiles und geformtes Füllstück erlaubt das wirkungsvolle Überbauen als geschützten Arbeitsraum, der auch im überbauten Zustand weiterhin der Nutzung durch die Wissenschaft zur Verfügung steht.

Das Vor und Hinterschiff werden durch eine lange Back und einer kurzen Poop mit zusätzlichen Wellenbrechern optimal gegen überkommene See geschützt und erlauben unfallminimiertes Arbeiten auch bei stärkerem Seegang.

Die Anordnung der Brücke ergibt sich aus den notwendig erforderlichen guten Sichtverhältnissen für die Eis- und Transitfahrt sowie für Forschungsfahrten.

9.1.5 Schiffsförm und Linienentwicklung

Bei der Linienentwicklung wurde von einer Querschnittsform mit schrägen seitlichen Eisbrechewänden ausgegangen, die es dem Schiff erlauben, beim dynamischen Positionieren unter Einsatz der Querstrahler und unter Mitwirkung der Krängungstankanlage dem Schiff durch ein „Rundum-Eisbrechen“ seitlich Platz zum Manövrieren zu verschaffen. Das Vorschiff erhielt einen Löffelbug zusammen mit einem Eisbrechkeil, der einen harmonischen Übergang in den Kiel aufweist. Diese Form bewirkt, dass das Schiff beim Eisrammen und beim Trimm-Eisbrechen während des dynamischen Positionierens auf das Eis gleiten kann, um unter Nutzung des eigenen Schiffsgewichtes das Eisbrechen zu unterstützen. Der Keil dient dazu, einerseits ein zu weites Aufgleiten des Schiffes

zu verhindern und andererseits das Eis beim Anströmen so zu teilen, dass die eingebauten Lotwandler eisfrei gehalten werden. Gleichzeitig erfolgt mit dem Keil das kontrollierte Aufstoppen des Schiffes, damit es sich nicht im Eis festfährt und mit eigener Kraft wieder nach achtern vom Eis ziehen kann für einen erneuten Anlauf zum Rammeisbrechen. Im erwähnten keilförmigen Kiel sind im eisfreien Bereich vorne die großen Lotwandler der Fächerlote untergebracht.

Die Heckform ist ebenfalls so gestaltet, dass auch ein Eisbrechen in Rückwärtsfahrt wirkungsvoll möglich ist und das dynamische Positionieren durch die Eisbrech-Trimmanlage unterstützt wird. Das Heck mit zwei Heckaufschleppen für das Ausbringen von wissenschaftlichen Geräten wurde in Zusammenarbeit mit Experten der Geophysik für das Arbeiten mit seismischen Gerät im Eis und für Offenwasserfahrt in Bezug auf Ergonomie, Anordnung der Hilfs- und achteren Laborräume, sowie des Witterungsschutzes optimiert. Es kann durch Füllstücke wirkungsvoll geschlossen werden. Diese Füllstücke werden mit Bordmitteln hantiert.



Abb. 30: Heckaufschleppen mit Füllstück

Für das Eisbrechen in Rückwärtsfahrt wird das Mittelruder durch einen Eissporn geschützt und in der Mittschiffsposition zum Schutz von Ruderblatt und Rudermaschine fixiert. Die drei Propeller sind extrem tief angeordnet. Durch den großen Propeller-Freischlag können auch größere Schollen entlang der Außenhaut gleiten, ohne dass sie von den Propellern gefahrvoll zerkleinert werden müssen. Dieses ist ein wesentlicher Aspekt für die Betriebssicherheit der gesamten Antriebsanlage.

Die Verschlüsse der jeweils 3 ausfahrbaren Querstrahler vor und hinter den Moon-Pools sind im eingefahrenen Zustand aus operativen Gründen nicht wasserdicht. Die beiden Moon-Pools haben dagegen wasserdichte Verschlussmöglichkeiten erhalten und werden auf Transitstrecken zur Vermeidung von großen Verdrängungsverlusten, Reduzierung der freibeweglicher Wassermassen in den Schächten und bei Forschungsmessfahrten zur Geräuschminimierung geschlossen. Ferner vermindert der glatte Verschluss den Schiffswiderstand und

reduziert den Betriebstiefgang sofern die eingeschlossenen Wassermassen gelenzt werden. Für die Montage und Einsatzvorbereitung von Großgeräten und Bohrausrüstungen bietet der leere Moon-Pool beste Möglichkeiten. Außerdem ist eine Reinigung der Schächte aufgrund von wissenschaftlichen Anforderungen jederzeit schnell, gefahrlos und kostengünstig möglich.

9.1.6 Grundsatzüberlegungen zur Leistung und Schiffsantrieb / Propeller

Die Schiffssicherheit und die höchst mögliche Zuverlässigkeit des Schiffes mit Redundanz in den Systemen haben die Auslegung des Schiffsantriebes und die Leistungsfestlegung der jeweiligen Antriebseinheiten bestimmt. Es war das kompromisslose Ziel bei den Propulsoren auf bewährte und robuste Technik zurückzugreifen, da AURORA BOREALIS beim Betrieb in ansonsten unzugänglichen und weit abgelegenen Einsatzorten nur mit größtem technischem und finanziellem Einsatz Hilfe erhalten kann. Das Antriebskonzept mit einer Drei-Propelleranlage und einem Mittelruder wurde schon sehr frühzeitig festgelegt und ist vergleichbar mit den Anlagen der im Einsatz erprobten schweren Eisbrecher. Die erforderliche Vortriebsleistung beim Eisbrechen mit einer Geschwindigkeit von ca. 3 Knoten im Mehrjahreseis von 2,5m Dicke wurde durch die Modellversuche in den zwei h genannten namentlich Eistanks ermittelt und resultierte in einer Leistung von drei Mal 27.000 kW.

Äußerste Robustheit und geringe Gefahr des Ausfalles unter den extremen Betriebsanforderungen im Eis wurde auch bei der Wahl der sechs Querstrahlanlagen gefunden. Bei Entwurf und Auswahl wurden sowohl die reichhaltigen positiven als auch negativen Erfahrungen mit Positioniereinrichtungen in der Öl- und Gasindustrie genutzt. Bedingt durch die großen erforderlichen Antriebsleistungen und zur Vermeidung von Schäden infolge von Dichtungsproblemen durch Eisschlag gegen die Propulsoren und den generell problematischen Reparaturmöglichkeiten, insbesondere an Bord, kommen vollständig drehbare Strahlantriebe nicht zur Anwendung. Derzeit gibt es im Markt noch keine ausfahrbare Propulsoren mit ausreichender Eisfestigkeit für die höchste Eisklasse PC1. Die gewählten ausfahrbare Querstrahler haben zwar nicht den optimalen Wirkungsgrad, sie sind aber in ihrer erprobten Robustheit überzeugend und mit den im Projekt entwickelten Schutzmaßnahmen und Ausfahrmechanismen realisierbar, wohingegen drehbare Azimuth Thruster in dieser Leistungsgröße und für diese höchste Eisklasse PC1 in absehbarer Zeit noch nicht denkbar sind. Die erforderlichen Antriebsleistungen mit daraus resultierenden Baugrößen konnten abschließend nach Durchführung der Modellversuche für das dynamische Positionieren in den Eistanks bei der HSVA in Hamburg und bei Aker Arctic Technology in Helsinki verifiziert werden. Die Konzeption der gewählten Querstrahler mit Propellern in Düsen haben jeweils 4.500 kW Leistung, lassen aber bei unveränderter Konzeption auch die Installation höherer Leistungen zu, wenn sich diese aus den geplanten weiteren Untersuchungen für den Detailentwurf ergeben sollte.

Beim dynamischen Positionieren wird das Schiff durch entsprechende Manöver unter Einsatz der Eisbrechkomponenten und daraus resultierenden Eisbrechfähigkeiten immer zur Eisdrift gedreht, um möglichst mit dem Bug oder dem Heck wirkungsvoll gegen die Eisdrift arbeiten zu können. Zum Drehen des Schiffes bringen die Querstrahler vorn und achtern ein Drehmoment auf, mit dem das Schiff gegen die Eiskanten gedrückt wird, während die Schiffsform mit den Eisbrechschrägen von Bug und Heck mit den Schultern bzw. den schrägen Schiffsseiten unter Mitwirkung der Krängungs- und Trimmtankanlage eisbrechend ausreichend freies Wasser zum Manövrieren um das Schiff herum erzeugen wird. Damit kann das Schiff die jeweilige Lage verlassen und auf der Stelle drehen.

9.1.7 Anordnung von Propellern und Ruder

Die ausgeprägte Rumpfform von AURORA BOREALIS zum Eisbrechen in Vorwärts- aber auch in Rückwärtsfahrt verbunden mit der Ausführung der Wellentunnel für Mittel- und Seitenpropeller haben sich bei den Modellversuchen als äußerst wirkungsvoll erwiesen und war auch bei den Seegangsversuchen mit den diversen Wellenrichtungen und Spektren extrem günstig. Der große Propellerfreischlag ist ebenfalls vorteilhaft für die Geräusch- und Schallentwicklung beim Eisbrechen und insbesondere bei Forschungsmessfahrten. Mit Hinsicht auf die Rückwärtsfahrt im Eis wurde ein solides Mittelruder mit Eissporn vorgesehen. Die Ruderfläche ist hinreichend bemessen, da die Seitenpropeller bei unterschiedlicher Lastbeaufschlagung auch ein Drehmoment für das Schiff erzeugen können und damit das Schiff auch ohne Ruder manövrierfähig wäre. Anordnung von Propellern und Ruder wurden durch die Modellversuche in den Eistanks unter den diversen Einsatzbedingungen und Manövern als sehr gut bestätigt. Das Gleiche wurde auch aus den Versuchen im Versuchstank für die Freifahrt und Schleichfahrt bei Forschungsaufgaben bestätigt.

9.1.8 Trimmsystem

Eine Besonderheit von AURORA BOREALIS und eine unabdingbare Voraussetzung für das dynamische Positionieren ist das neu entwickelte Trimmsystem, bei dem durch schnelle Umpumpen von großen Wasserballastmengen zwischen den vorderen und achteren Trimmtanks der Bug bzw. das Heck rhythmisch gehoben und gesenkt werden können, um ein kontrolliertes Eisbrechen bei nur sehr geringen Geschwindigkeiten zwischen Schiff und Eis zu bewirken.

Dieses ist zusammen mit der entwickelten Schiffsform und der aktiven Krängungsanlage sowie den Querstrahlern der Schlüssel zum erfolgreichen dynamischen Positionieren in der Eisdrift. Die unternehmenseigene Idee wurde immer weiter verfeinert und mit einschlägigen Lieferanten bis zur Fertigungsreife konzipiert. Mit dem Konzept wird praktisch eisbrechtechnisch eine Schiffsgeschwindigkeit bei Stillstand des Schiffes simuliert. Das Trimmsystem wurde von den Entwerfern mittlerweile zum Patent angemeldet.

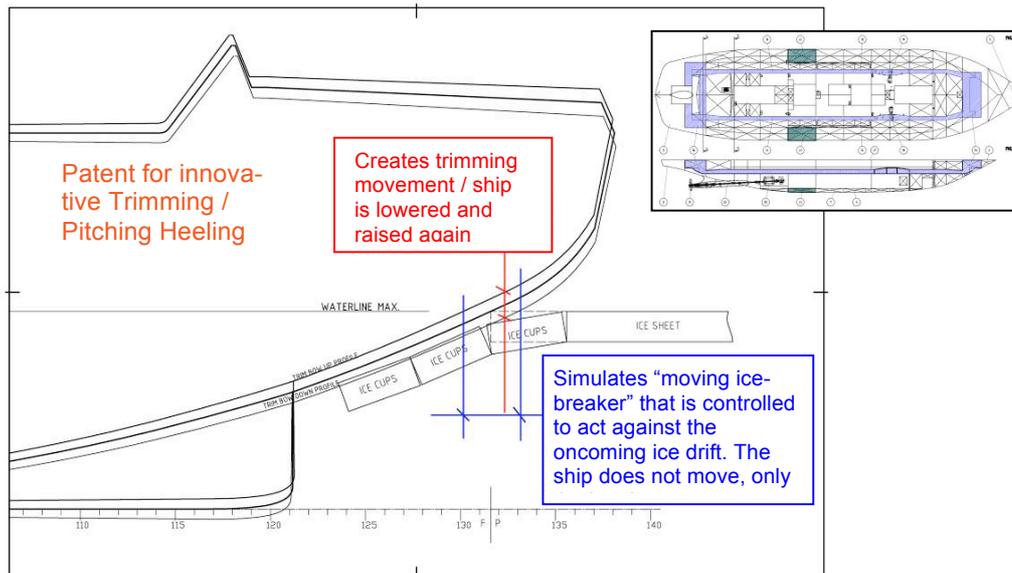


Abb. 31: Innovation zum Eisbrechen und Dynamischen Positionieren während des Bohrens.

9.1.9 Diesel-Elektrische Energieerzeugung, Abgas und Umwelt, Energierückgewinnung, Motorenaufteilung, Schall und Vibrationen

Für AURORA BOREALIS wurde wegen des weiten Spektrums der unterschiedlichen Energiebedarfe von vorne herein eine Diesel-elektrische Energieerzeugung geplant, um möglichst wirtschaftlich die jeweiligen Leistungsanforderungen abzudecken. Für die diversen Fahr- und Betriebsprofile im Eis, beim Bohren und dynamischen Positionieren im Eis, beim Eisrammen, bei der Transitarbeit im Eis und im offenen Wasser, oder für Arbeiten auf Position liegend, konnte der Energiebedarf aller elektrischen Verbraucher ermittelt und eine wirkungsvolle Aufteilung der zu nutzenden Diesel-Generatorsätze für den jeweils kostengeringsten Brennstoffverbrauch für ein schiffsbezogenes Power Management bestimmt werden. Neben Diesel-Motoren wurden auch andere Energieerzeuger untersucht, wie zum Beispiel Gasturbinen. Die Betriebskostenbetrachtungen für angenommene Jahreseinsatzprofile lassen einen Gasturbineneinsatz nicht zu.

Als Ergebnis wurden im Schiff insgesamt acht Diesel-Aggregate unterschiedlicher Leistungsgrößen symmetrisch paarweise vorgesehen. Die größten Leistungsanforderungen werden beim Eisrammen und beim Bohren mit dynamischer Positionierung abgerufen. Schall- und Vibrationsarmut werden durch die entsprechende Anordnung und konstruktive Fundamentgestaltung minimiert. Zusätzlich wurden zwei Generatoreinheiten besonders geräuscharm und schwingelastisch gelagert, um die Energie für geräuschempfindliche Forschungsmessfahrten zu liefern.

Bei den Betrachtungen der Energieerzeugung und -verwertung gingen der spezifische Brennstoffbedarf der Motoren, die Umweltauflagen bezüglich CO₂, NO_x und SO_x Emissionen, zukünftige Anforderungen an Emissionsgrenzwerte für die Motore und deren Abgastechnik, Verfügbarkeit und Kosten von Arctic Diesel, Marine Diesel, Schweröl mit reduziertem Schwefelanteilen und deren Nutzbarkeit in geschützten Zonen sowie eine größtmögliche Ausbeute von Abgaswärmerückgewinnung zum Beheizen des Schiffes in den polaren Regionen mit ein.

Diese entsprechenden Betrachtungen und Entwicklungen wurden in den folgenden separaten Konzeptausarbeitungen durchgeführt:

- Überlegungen zur Antriebskonzeption mit Darstellung von Alternativen hinsichtlich Anordnung und Energieerzeugung (Propulsion Concept).
- Umweltanalysen-Bericht, Emissionsrichtlinien Antriebe, Blauer Engel

9.1.10 Schallanalysen, Vibrationsanalysen, Geräuschberechnungen

Bereits mit den ersten Raumkonzepten wurde auf die strikte Trennung von Wohnräumen, öffentlichen Räumen, Labor- und Messräumen und Pufferzonen zu Maschinenräumen und Geräteräumen mit Lärmerzeugenden Komponenten geachtet. Es wurden Geräuschberechnungen durchgeführt mit vorab definierten, zum Teil unterhalb im Schiffbau üblichen Grenzwerten, damit in der Realisierung diese spezifizierten Lärmpegel auch erreicht werden können. Bei den Energieerzeugern, Motoren und beweglichen Aggregaten wurden schwingelastische Lagerungen vorgeschrieben. Vibrationsaspekte wurden, soweit diese im derzeitigen Entwurfsstadium schon möglich sind, in die Spezifikation eingebracht. Entsprechende Schallisierungskonzepte wurden entwickelt, um das Schiff den spezifizierten Richtlinien gemäß bauen zu können. Nachstehende Konzepte wurden erarbeitet:

- Schallschutzkonzept unter der Berücksichtigung der wissenschaftlichen Anforderungen für ein Schiff mit einem sehr niedrigen eigenen Geräuschpegel für akustische bzw. seismische Messungen.
- Konzept für die Isolierung des Schiffskörpers bezüglich der einzuhaltenden Randbedingungen wurde als Zeichnung erstellt.

9.1.11 Anordnung der wissenschaftliche Arbeitsbereiche auf dem freien Deck und im Bereich der Moon-Pools

Die wissenschaftlichen Arbeitsbereiche wurden ausschließlich oberhalb des Hauptdecks angeordnet. Neben dem großzügigen freien Arbeitsdeck im hinteren Bereich des Schiffes befinden sich alle übrigen bohr- und forschungstechnischen Anlagen und Einrichtungen in dem sehr kompakten, geschützten Aufbau. Sie wurden dort unter ergonomischen Gesichtspunkten optimal angeordnet. Die

wissenschaftlichen Arbeitsbereiche und Laborzuordnungen wurden mit den Wissenschaftlern des AWI und anderen Instituten abgeglichen und optimiert. Dazu wurden Sitzungen mit den Repräsentanten unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen durchgeführt.

Der Bohrturm mit einer Höhe von 80 Metern über Basis besteht aus einer nach außen geschlossenen integrierten Stahlkonstruktion und ist gegen die Außenwelt hermetisch abgeriegelt. Dieses erlaubt das wissenschaftliche Bohren unabhängig von den Außentemperaturen in relativ angenehmer Arbeitsumgebung. Für das Temperieren des Bohrturminnenraumes werden unter anderem die Abwärme aus Klima und Lüftung bzw. dem Motorkühlwasser verwendet. Im oberen Bereich des Bohrturmes sind Räumlichkeiten für wissenschaftliches Arbeiten und Eisbeobachtungen angeordnet. Alle bohrtechnischen Ausstattungen und Hilfsmittel sind für den jeweiligen Bohrgang innerhalb des Turmes untergebracht. Bei Forschungsfahrten ohne Bohrbetrieb werden alle störenden bohrtechnischen Einrichtungen abgeräumt bzw. in Parkpositionen gefahren. Dadurch kann dieser Moon-Pool auch von anderen wissenschaftlichen Disziplinen genutzt werden. Der Moon-Pool kann nach unten zum Wasser hin wasserdicht verschlossen werden, um damit im Eventualfall auch Umweltbelastungen durch an Bord angefallene Verschmutzungen zu verhindern.

Der vordere Moon-Pool ist dagegen ausschließlich für multidisziplinäres wissenschaftliche Arbeiten und das Ausbringen von wissenschaftlichen Geräten aller Art und Größen vorgesehen. Um diesen Moon-Pool herum wurden deswegen die entsprechenden Laborräume, einschließlich der Räume für Labor-Container, in einer Atrium-Form angeordnet. In den Moon-Pool-Bereich können vorbereitete Labor-Container in der genannten Anzahl von oben durch eine verschiebbare Luke eingesetzt werden. Die Konzeption des Atriums und der damit verbundenen logistischen Möglichkeiten der Schiffsnutzung ist für Forschungsschiffe eine Neuheit. Eine Lichtkuppel sorgt für angenehme Tageslichtatmosphäre und minimiert den Energieverbrauch. Bei auftretender Bewölkung oder Dunkelheit wird die Dämmerungsschaltung aktiviert und das Kunstlicht im erforderlichen Umfang für komfortables Arbeiten zugeschaltet. Auch dieser Moon-Pool ist nach unten hin verschließbar und ermöglicht dadurch unter anderem die Nutzung des Schachtbodens als Montageplatz für wissenschaftliche Großgeräte.

Der Bohrturmbereich mit Beschickung und Lagerung des Bohrgestänges, der Handhabung der Bohrkerne, der Optimierung des Drill-Floors, der Demontagemöglichkeit der Bohrmaschinerie zur Nutzung des Moon-Pools für andersartige Aufgaben, der Anordnung und Auslegung der Bohrturmstruktur mit Einbindung in den Schiffskörper, die Integration der Abgastechnik in den Turm sowie die Anordnung einer hochgelegenen Eisobservationsstation wurde in diversen Entwurfsschleifen erarbeitet und mit Fachfirmen und Experten des IODP aus den USA intensiv abgestimmt.

9.1.12 Anordnung und Ausstattung von Wohn- und Aufenthaltsräumen, Zitadellenkonzept

Die Größe des Schiffes erlaubte eine angemessene Anordnung und Ausstattung der so wichtigen öffentlichen Räume für Besprechungen, größere Sitzungen und kleinere Tagungen, aber auch für repräsentative Empfänge an Bord dieses weltweit operierenden Schiffes als europäische Großforschungseinrichtung. Alles ist auf eine Optimierung der Abläufe und der vielseitigen wissenschaftlichen Aktivitäten mit zugehöriger Öffentlichkeitsarbeit auf der AURORA BOREALIS ausgerichtet.

Dank der Schiffsgröße konnten alle Kabinen nutzerfreundlich als geräumige Außenkabinen ausgeführt werden. Leitendes Personal aus den Bereichen Schiffsbetrieb und Wissenschaft erhielten in ihren Kabinen entweder separate Arbeitsräume oder zumindest einen zusätzlichen Platz für administrative Aufgaben.

Lebenswichtige Räume und Funktionen sind in einem Zitadellenbereich zusammengefasst, wo die Personen an Bord in Notsituationen Zuflucht finden können, zu solchen besonderen, extremen Situationen zählen z.B.:

- dass das Schiff im Eis gefangen gehalten wird und die restlichen Brennstoff-Bunker so sparsam wie nötig genutzt werden sollen oder
- dass die Maschinenräume aufgrund von Feuer oder Flutung verloren sind und unzureichend Energie zur Verfügung steht.

Der Zitadellenbereich befindet sich in der Hauptfeuerzone 2 und umfasst 51 Kabinen mit 52 Betten, die Küche, Messen, Provianträume, das Hospital, Wäscherei und auch die Tischlerwerkstatt mit Lagerraum. Besatzungsmitglieder mit Kabinen außerhalb der Zitadelle würden temporär in der Europe-Launch und in der Offiziers / Wissenschaftler Messe 2 mit angrenzendem Aufenthaltsraum untergebracht. Die Zitadelle wird mit elektrischer Energie vom Notgenerator und mit Wärme vom Notkessel versorgt, die beiden vorne unter dem Backdeck angeordnet sind. Das Konzept hierzu wurde im nachfolgenden Bericht zusammengefasst:

- Konzeption eines "Zitadellenbereiches" als Überlebenszentrum im Katastrophenfall mit autarker Energieversorgung.

9.1.13 Transportwege und Transportsystem

AURORA BOREALIS ist vorbereitet für die Aufnahme eines teilautomatisierten Logistik- und Transportsystem mit zugehöriger Datenerfassung und Steuerung von schiffsinternen Transporten. Alle Gänge und Transportwege sind gradlinig und breit genug für den Euro-Paletten-Transport ausgelegt. Nicht nur die wissenschaftlichen Hilfsmittel, Proben usw. werden automatisch von Raum zu Raum zu den Nutzern befördert, sondern auch viele weitere Güter, Proviant oder Ersatzteile gelangen so von und zu den Lagerstätten. Über teilautomatisierte Transportketten werden Behältnisse und Ausrüstungen bis zur voll bela-

denen Euro-Palette mit einem kraftschlüssigen Transportmittel auch unter Seebedingungen unbemannt von einem Ort zum anderen an Bord befördern. Für den Flurtransport von Containern sind ebenfalls geeignete Hilfsmittel an Bord vorhanden, um diese von einem Ende zum anderen des Schiffes zu bewegen. Durch automatische Registrierung der Transport- und Warenflüsse entfallen fast alle manuellen buchhalterischen Tätigkeiten für Lagerbestände und Verbräuche. All diese Maßnahmen dienen der Entlastung der Besatzung und der Wissenschaft von zeitraubenden Nebentätigkeiten und machen den Einsatz des Schiffes auch unter diesem Aspekt so wirtschaftlich wie möglich. Die Entwicklung eines solchen komplexen Systems ist weltweit einmalig für den Schiffsbetrieb.

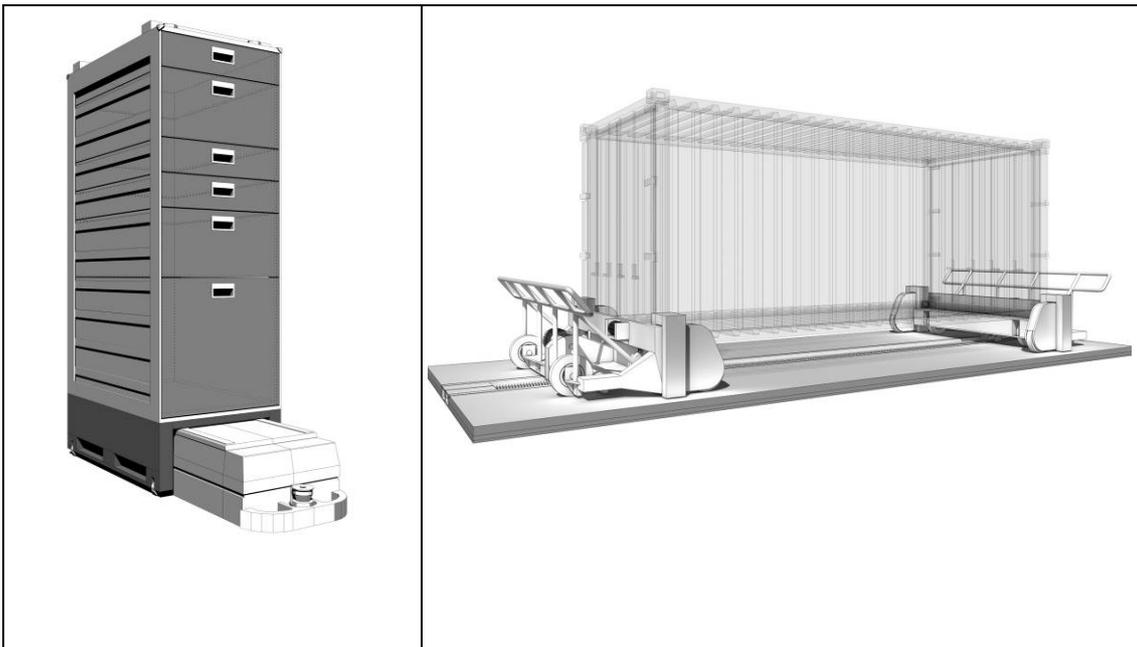


Abb. 32: Visualisierung Transportsystem. Links: Stau-Rack mit selbststeuerndem Transport-Modul und automatischer Inhaltskontrolle. rechts: Seegangsfähige Container-Transport-Einheiten.

9.1.14 Kombination von Transport- und Staufunktionen

Das teilautomatisierte Logistik- und Transportsystem mit zugehöriger Datenerfassung und Steuerung von schiffsinternen Transporten befördert nicht nur die wissenschaftlichen Hilfsmittel und Proben, sondern auch bei vielen übrigen Gütern wie Proviant, Ersatzteile etc. Diese Güter und Ausrüstungen werden in Behältnissen über voll- oder teilautomatisierte Transportketten in die Provianträume und Stores befördert. Dabei werden die Inhalte der Behältnisse automatisch registriert und buchhalterisch verwaltet bis hin zu den Nachbestellungen und außer Haus Kommissionierungen.

Die Behältnisse selber sind so gestaltet, dass sie in den Stores und Provianträumen als Regal- und Sortierfächer direkt benutzt werden. Die sonst üblichen Regalsysteme entfallen in diesen so genutzten Räumen.

Die Behälter sind mit Transporträdern und Feststellvorrichtungen ausgestattet und werden in der endgültigen Stauposition seegangsfest gesichert.



Abb. 33: Beispiel von Stau-Rack-Anordnungen im Proviant- und Storebereich

9.2 Modellversuche für das Eisbrechen und Fahrten im offenen Wasser

Ein Hauptziel der Schleppversuche war es, den qualifizierten Nachweis zur Fähigkeit des dynamischen Positionierens des vorliegenden Schiffskonzeptes im driftenden Level-Eis zu führen. Damit einhergehend war auch die Transit-Eisbrechleistung zu verifizieren und in begleitenden Offenwasserversuchen wurden auch die Leistungsdaten zum Manövrier- und Seegangsverhalten versuchstechnisch ermittelt. Vorangestellte theoretische Berechnungen und Prognosen wurden hierbei überprüft.

Das Modellversuchsspektrum wurde in zwei Teilbereichen mit unterschiedlichen Schwerpunkten und teilweisen Überschneidungen auf ausgewählten Gebieten in den Versuchsanlagen der AARC, Helsinki, und der HSVA, Hamburg, gefahren.

9.2.1 AARC

- Rechnerische Prognose der real auftretenden Eisdrücke
- Rechnerische Prognose der Transiteisbrechfähigkeit

- Transit-Eisbrechen 2m, 2,5m, 3m im geschlossenen Eis und im Scholleneis vorwärts und rückwärts
- Durchbrechen von Ridges vorwärts und rückwärts
- Ausbrech- und Drehkreisversuche im geschlossenen Eis
- Schrägschleppversuche 2m, 2,5m, 3m sowohl im geschlossenen Eis als auch im Scholleneis mit verschiedenen Heading-Winkeln (0° bis 50° vorwärts) zur Messung von Eiskräften für Dynamic Positioning Analysen
- Schrägschleppversuche 2m im geschlossenen Eis als auch in Scholleneis mit verschiedenen Headingwinkeln (130° - 180° rückwärts) zur Messung von Eiskräften für Dynamic Positioning Analysen

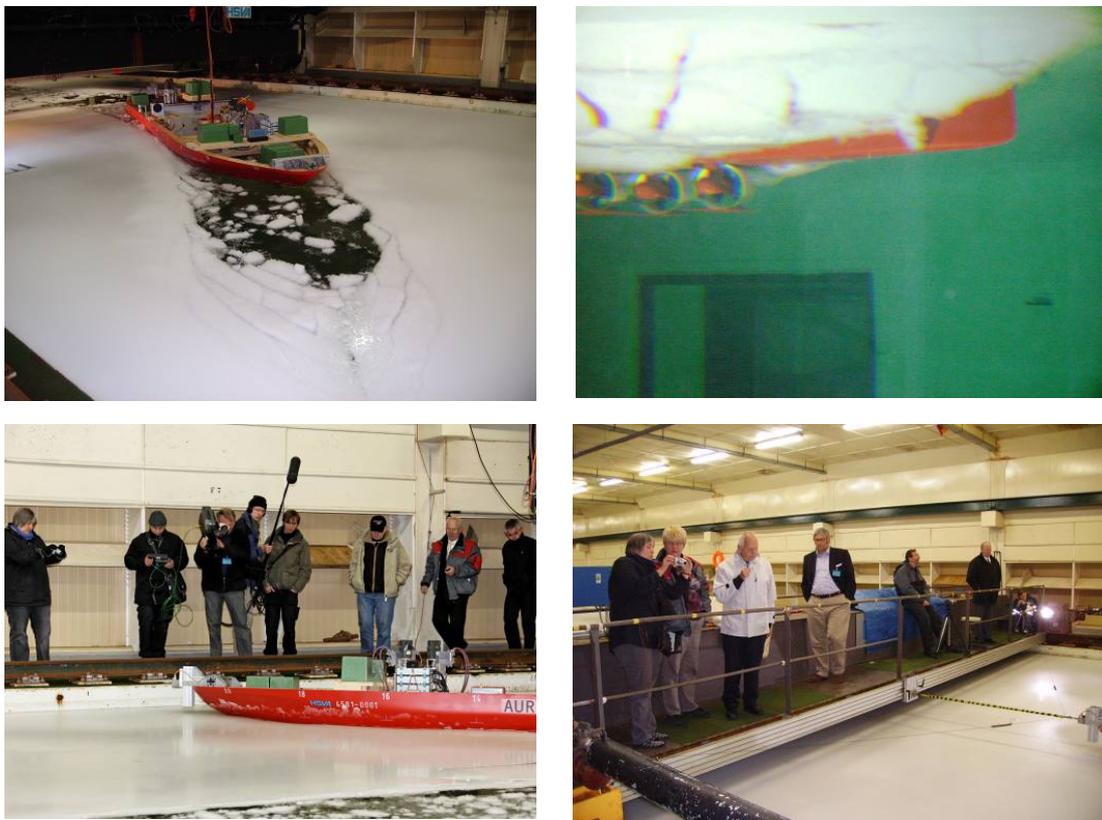


Abb. 34: Unterschiedliche Eistankversuche bei AARC und HSVA

9.2.2 HSVA

- Rechnerische Prognose der real auftretenden Eisdrücke
- Rechnerische Prognose der Transiteisbrechfähigkeit
- Widerstandsversuche
- Propulsionsversuche
- Nachstrommessungen
- Manövierversuche

- Seegangversuche
- Transiteisbrechen 1m, 1,5m, 2m im geschlossenen Eis und im Scholleneis vorwärts und rückwärts
- Durchbrechen von Rubble-Eisfeldern vorwärts und rückwärts
- Ausbrech- und Drehkreisversuche im geschlossenen Eis
- Dynamic Positioning Versuche im driftenden Eis mit frei fahrendem Modell
- Schrägschleppversuch 1m sowohl im geschlossenen Eis als auch im Scholleneis mit verschiedenen Heading-Winkeln (0°, 5° und 10° vorwärts) zur Messung von Eiskräften für Dynamic Positioning Analysen
- Simulation von erzwungenen Roll- und Stampfbewegungen zur kontrollierten Erhöhung der Eisbrechfähigkeit bei kleinsten Geschwindigkeiten im Dynamic Positioning Modus

9.2.3 Ergebnisse:

Die Schleppversuche ergeben, dass der Entwurf von AURRORA BOREALIS einen optimalen Kompromiss für einen Forschungseisbrecher mit Bohreinrichtung darstellt:

- Das Schiff hat sehr gute Transit-Eisbrecheigenschaften
- Das Schiff kann im driftenden Eis dynamisch positionieren
- Das Schiff hat ein gutes Seegangs- und Manövrierverhalten

Marginale Verbesserungsmöglichkeiten an den Schiffslinien wurden lediglich in wenigen lokalen Bereichen identifiziert und in den Entwurfs- und Tenderunterlagen entsprechend eingearbeitet.

9.3 Richtlinien und Empfehlungen, Eisdrücke und Schiffskörperfestigkeit

Die Bemessung der Schiffskörperfestigkeit sowie der schiffstechnischen und maschinenbaulichen Ausrüstung wurde gemäß den Vorschriften und in Abstimmung mit den Klassifikationsgesellschaften Germanischer Lloyd und Lloyds Register für die höchste Eisklasse PC1 ausgelegt und abgestimmt, die sinngemäß für alle 10 Mitgliedsgesellschaften im IACS Verbund gelten, inklusive des Russischen Registers. Darüber hinaus wurden aus den Ergebnissen des jüngsten internationalen Forschungsvorhabens der US Coast Guard, der Japanischen nationalen maritimen Verwaltung und der HSVA die erhöhten Eisdruckverteilungen für AURORA BOREALIS zugrunde gelegt, die über die derzeitigen Klassifikationsvorschriften für Eisbrecher noch hinausgehen. Ebenfalls wurden die Richtlinien für „Winterization“ von Lloyds Register mit der Klassifikationsgesellschaft abgestimmt und im Entwurf vollständig berücksichtigt.

Ein externer unabhängiger Bericht zum Thema „Winterization“ wurde von Lloyds Register anhand der vorliegenden Entwurfsdokumentation für das AWI ausgearbeitet.

Aufbauanordnung und schwere Bogenrahmen an den Aufbaudecks als seitlicher Schutz des Schiffes gegen Beschädigungen am Shelf-Eisrand.

Neben der Festigkeit des Basisrumpfes benötigt dieses für vielseitige Operationen geeignete eisbrechende Bohr- und Forschungsschiff außer der optimalen Anordnung von Bohr- und Forschungs- Moon-Pool eine sinnvolle und aufgabengerechte Anordnung und Gestaltung des Deckshauses. Das Vorschiff ist durch eine erhöhte lange Back mit aufgesetztem Wellenbrecher gut gestaltet. Dadurch sind sowohl die Aufbau-Frontwand als auch die an Deck gestaute Ladung und Container optimal geschützt.

Für überkommendes Wasser bei achterlicher See ist eine kleine Poop ebenfalls mit einem zusätzlichen Wellenbrecher vorhanden. Diese Poop mit seinen herausnehmbaren Teilen der Heckaufschleppe sind festigkeitsmäßig entsprechend den Anforderungen beim Eisbrechen gestaltet.

Als seitlichen Schutz und zur besonderen Aussteifung der Aufbauten in Querschiffsrichtung sind jeweils an den Enden der Aufbauten besonders kräftige Bogenrahmen angeordnet. Mit der vorgesehenen Festigkeit darf sich das Schiff bei Bedarf seinen Liegeplatz an Schelfeiskanten von Vorsprüngen frei hobeln. Diese Bogenrahmen schützen nicht nur den Aufbau selber, sondern ganz besonders die Rettungsboote mit zugehörigen Ausbootungsplätzen sowie die übrigen Rettungseinrichtungen. Gleichzeitig werden diese seitlichen Türme für zentrale Treppenaufgänge, Fahrstühle und behördlich geforderten Fluchtwege genutzt.

9.4 Innovationen

Nachstehende Innovationen wurden für AURORA BOREALIS entwickelt:

- Balkonform der Außenhaut für Rundumeisbrechen.
- Krängungs- und Trimm-tank Konzept zum kontrollierten Eisbrechen bei sehr geringen Geschwindigkeiten.
- Dynamisches Positionieren im Eis.
- Auslegung der Schiffskörperfestigkeit für „Rundum-Eisbrechen“.
- Atrium Konzept für optimales wissenschaftliche Arbeiten und Einbringung von Laborcontainern in den Moonpool-Bereich.
- Bohrturmkonstruktion als witterungsgeschützter Arbeitsbereich.
- Doppel-Heckaufschleppe mit Füllstück zum Eisbrechen.
- Aufgeständerte Brücke mit Rundumsicht für Eisnavigation.

- Schwere Bogenrahmen an den Aufbaudecks als seitlicher Schutz des Schiffes gegen Beschädigungen des Schiffes mit seinen Rettungseinrichtungen am Schelf-Eisrand.
- Querstrahler-Wartung und Demontage in Montagegeschächten mit transportabler Hebevorrichtung.
- Transportsystem im Schiff für automatisierte Transporte (ohne Personalbegleitung) an Bord.

9.5 Patentierte Erfindungen

Auch wenn im europäischen Spezialschiffbau bei den meisten Neubauten projektrelevante Entwicklungen durchgeführt werden müssen, sind daraus resultierende patentfähige Lösungen relativ selten. Der Entwurf der AURORA BOREALIS war dermaßen vielschichtig innovativ, dass neben den unter Punkt 3.4 stichwortartig aufgeführten projektbezogene Innovationen zwei wichtige patentfähige Entwicklungen entstanden sind. Die Patentanmeldungen beinhalten:

Atrium Konzept mit Lichtkuppel und Laborcontainern (siehe Punkt 2.2)

Krängungs- und Trimmtank Konzept zum kontrollierten Eisbrechen bei geringen Geschwindigkeiten (siehe Punkt 3.1.8)

Transportsystem im Schiff (siehe Punkt 3.1.13)

Die unter Punkt 3.4 und 3.5 aufgelistete Entwicklungen stehen ab sofort zur Verwendung für andere Schiffsneubauten zur Verfügung.

9.6 Nutzbarkeit der Entwicklungsergebnisse für den Entwurf und den Betrieb von Schiffen in polaren Regionen

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass AURORA BOREALIS in der Eisbrechtechnik, der dynamischen Positionierung, der wissenschaftlichen Bohrtechnik, der multi-disziplinären Forschungsschiffahrt, der Energieerzeugung und Abgaswärmenutzung sowie in der Schiffsbetriebstechnik richtungweisend ist. AURORA BOREALIS ist ein Technologieträger, von dem bereits heute Adaptierungsmöglichkeiten für die kommerzielle Schifffahrt und die Öl- und Gasindustrie insbesondere im Arktischen Polargebiet bestehen.

10. SCHIFF-BAUKOSTEN UND BUDGETERMITTLUNG

voraussichtliche Kosten : 790 Mio. Euro Preisstand Anfang 2008/9

voraussichtliche Betriebskosten: 40 Mio. Euro im Jahr

Für AURORA BOREALIS wurde eine sehr detaillierte Baukostenschätzung mit Preisbasis 2008/ Anfang 2009 durchgeführt. Die Aufsummierung des Mengen-

Breite auf Tg. 13 m		45,00 m
Leichter Betriebstiefgang		11,50 m
Eisbrechtiefgang		13,00 m
Festigkeitstiefgang		13,25 m
Seitenhöhe bis Arbeitsdeck		17,75 m
Höhe der Back (Vorschiff)		24,75 m
Tragfähigkeit bei 13 m Tiefgang	ca.	15.500 t
Verdrängung bei 13 m Tiefgang	ca.	64.500 t
Verdrängung bei 13 m Tiefgang*)	ca.	63.000 t
HFO / MDO Tankkapazität	ca.	12.300 m ³
MDO Zusatzkapazität	ca.	500 m ³
Schmieröl Kapazität	ca.	500 m ³
Frischwasser mit Tagedstank	ca.	1.300 m ³
Ballast Wasser Kapazität	ca.	19.500 m ³
Krängungstank Kapazität	ca.	3.600 m ³
Trimmtank Kapazität	ca.	3.600 m ³
Reisegeschwindigkeit		15,5 knoten
Maximal Geschwindigkeit	ca.	20,0 knoten
Reichweite abhängig vom Profil		10,000 nm oder 90 Tage

*) Verdrängung mit verlorenem Auftrieb durch Flutung von Moon Pools, Seekästen, Querstrahlertunneln und Schächten für ausfahrbare Antriebe.

Antriebsart	Diesel-elektrisch
Generatorleistung gesamt	ca. 94 MW (elektrischen Energieerzeugung für das komplette Schiff),
Anzahl Generator Einheiten	8 plus Hafen- und Notgenerator - Abgaswärme-Rückgewinnung, Abgasreinigung
Hauptantriebe	3 x 27 MW max.
Festpropeller	3 x 6,5 m im Durchmesser, eisverstärkt
Querstrahler (Vorschiff + Heck)	2 x 3 Einheiten ausfahrbar, Stellung fest querab, davon je 1 Einheit vorne und hinten als Querstrahler im eingefahrenen Zustand. 6 x 4,5 MW
Propeller	4,14 m Durchmesser in Düse mit 5,30 m Durchmesser
Dynamisches Positionieren	in driftendem Eis bis zu 2,5m Dicke sowie in offenem Wasser

Containerkapazität

32 Stück 20'-Container im Bereich Moon-Pool
48 Stück 20'-Container im Laderaum,
6 Stück 20'-Container auf dem Peildeck und bis zu
40 Stück 20'-Container auf dem Arbeitsdeck
66 Stück 20'-Container auf der langen Back
Alternative können statt der 20' Container auf den Aussendecks bis zu 77 Stück 40'-Container gestaut werden.

Kranausrüstung Außendecks

Die Anordnung der Kräne für den gemeinsamen Einsatz für den Bordbetrieb sowie für die wissenschaftlichen Arbeiten ist im Generalplan dargestellt. Zusätzliche Hilfskräne werden im endgültigen Entwurf ergänzt werden können. Die Hauptkräne sollen Knickausleger erhalten, um möglichst pendelfrei Güter und Geräte handhaben zu können. Die Kräne werden durch 2 Schiebebalken für wissenschaftliche Arbeiten über die Schiffsseite und einen weiteren für Arbeiten über dem Bug ergänzt. Für Arbeiten über das Heck ist ein leistungsstarker A-Rahmen vorgesehen. Für örtliche Hebetätigkeiten sind diverse Sichelkräne geplant.

Hubschraubereinrichtungen

1 x Bell Agusta BA609 Tiltrotor VTOL Aircraft
2 x Bo 105 Hubschrauber
Hubschrauber-Notlandeplatz auf dem Vorschiff
Helideck mit automatischer Landeinrichtung
Hubschrauberbetankungsanlage,
Hangar

Wissenschaftliche Disziplinen und Ausrüstungen

Geologie (mit Bohren), Geophysik, Ozeanographie, Biologie mit Tiefseeforschung, Glaziologie, Meteorologie/ Atmosphärenphysik und Bathymetrie

Bohrturm (Höhe)	80,75 m über Kiel bzw. 63 m über dem Arbeitsdeck
max. Bohrtiefe	1000 m in das Sediment bei max. 5000 m Wassertiefe
Wissenschaftliche Lote	Tiefsee-Fächerlot, Sedimentlot und andere
Windenausrüstung	<p>Die zahlreichen fest installierten Frik-tions- und Speicherwinden für Dräh-te, Kabel und Lichtwellenleiter sind zum Schutz gegen Umwelteinflüsse in einem zentralen Windenraum an-geordnet, von wo aus die Dräh-te, Kabel und Lichtwellenleiter zu den Hebe- und Aussetzvorrichtungen der Moon Pools, des seitlichen Arbeits-decks, oder dem Heckgalgen geführt werden.</p> <p>Für die ergänzende temporäre Win-denausrüstung und -aufstellung für wissenschaftlichen Tätigkeiten wie z.B. Streamer-Winden, Winden zur Handhabung von großen Kolben- und Kastenloten, ist das gesamte Arbeitsdeck mit einem Raster mit dazwischenlegender Holzaufgabe ausgerüstet. Diese ermöglicht eine optimale und höchst flexible Zuord-nung von Winden und zusätzlichen Hebezeugen.</p>

12. ACKNOWLEDGEMENTS

We sincerely thank the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research for the financial and institutional support that enabled these works. Special thanks are due to the AWI administration and procurement department for managing and facilitating the ship design tendering process.

Our special thanks go to Ms. Elena Tschertkowa-Paulenz for her invaluable editorial support and long-time administrative management in the project.

We especially want to thank the masters of *R/V Polarstern*, U. Pahl, and of *R/V Maria S. Merian*, K. Bergmann, as well as the AWI science advisory group (U. Bathmann, S. El Naggar, R. Gersonde, W. Jokat, M. Klages, G. König-Langlo, M. Kriews, J. Matthiessen, M. Rutgers v.d. Loeff, U. Schauer, H.-W. Schenke, R. Stein) for their dedication and work in defining scientific requirements and reviewing parts of the layout for the vessel. We remain deeply indebted to the late S. Neben (BGR, AWI) for his valuable contributions and provision of expertise to the general arrangement planning and the geophysical survey requirements.

We sincerely thank all participants of the national and international AURORA BOREALIS workshops carried out in Belgium, Denmark, Germany, Italy, Norway, Romania, Russia, The Netherlands and the USA for stimulating discussions, their contributions and expertise that helped define the scientific-technical mission requirements for the vessel design.

We are very much indebted to the entire project team at SCHIFFKO / Wartsila Ship Design Germany for their efforts, dedication, expert work and support during the technical design phase of the work.

We also thank Prof. C. C. Pruin and his team at generalPLAN GmbH, Hamburg for realising the high-quality visualisations and video animations of the vessel. We extend our thanks to the project teams in the test tanks facilities in Hamburg (HSVA) and Helsinki (AARC) for their help, expertise, professional support and dedication to the project. We sincerely thank Mr. D. Deter (NAUTEX Inc. Houston) for providing his expertise, the excellent collaboration on the dynamic positioning system design and the personal commitment to the project.

We thank the entire team under the lead of P. Blum from the U.S. Implementing Organisation of the Integrated Ocean Drilling Program for their highly valuable contributions to designing and improving the scientific workflow plans and drill rig arrangements for the ship.

This study was funded by the German Federal Ministry for Education and Research (BMBF) under grant no. 03F0464A “Durchführung abschließender technischer Untersuchungen und Aufbau eines internationalen Konsortiums für das eisbrechende Forschungsschiff AURORA BOREALIS”.

The publication of this technical summary report volume was supported by funds from the European Commission within the 7th Framework Programme under grant agreement no. 211796 “The European Research Icebreaker Consortium AURORA BOREALIS”.

13. ACRONYMS AND ABBREVIATIONS

AARC	Aker Arctic Technology Company
AUV	Autonomous Underwater Vehicle
AWI	Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
BMBF	Bundesministerium f. Bildung und Forschung
DP	Dynamic Positioning
ECORD	European Consortium for Ocean Research Drilling
HFO	Heavy Fuel Oil
HSVA	Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH (HSVA)
IACS	International Association of Classification Societies
IMO	International Maritime Organization
IODP	Integrated Ocean Drilling Program
IT	information technology
JOIDES	Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling
KW	Kilowatt
LR	Lloyd's Register
MDO	Marine Diesel Oil
MW	Megawatt
NOV	National Oilwell Varco
NOx	Nitrous Oxides
PC	Polar Code
ROV	Remotely Operated Vehicle
SOx	Sulphur Oxides
USIO	U. S. Implementing Organisation
WSDG	Wärtsilä Ship Design Germany

Die "Berichte zur Polar- und Meeresforschung" (ISSN 1866-3192) werden beginnend mit dem Heft Nr. 569 (2008) als Open-Access-Publikation herausgegeben. Ein Verzeichnis aller Hefte einschließlich der Druckausgaben (Heft 377-568) sowie der früheren "**Berichte zur Polarforschung** (Heft 1-376, von 1982 bis 2000) befindet sich im Internet in der Ablage des electronic Information Center des AWI (**ePIC**) unter der URL <http://epic.awi.de>. Durch Auswahl "Reports on Polar- and Marine Research" auf der rechten Seite des Fensters wird eine Liste der Publikationen in alphabetischer Reihenfolge (nach Autoren) innerhalb der absteigenden chronologischen Reihenfolge der Jahrgänge erzeugt.

To generate a list of all Reports past issues, use the following URL: <http://epic.awi.de> and select the right frame to browse "Reports on Polar and Marine Research". A chronological list in declining order, author names alphabetical, will be produced, and pdf-icons shown for open access download.

Verzeichnis der zuletzt erschienenen Hefte:

Heft-Nr. 625/2011 — "The Expedition of the Research Vessel 'Polarstern' to the Arctic in 2010 (ARK-XXV/1)", edited by Gereon Budéus

Heft-Nr. 626/2011 — "Towards data assimilation in ice-dynamic models: the (geo)physical basis", by Olaf Eisen

Heft-Nr. 627/2011 — "The Expedition of the Research Vessel 'Polarstern' to the Arctic in 2007 (ARK-XXII/1a-c)", edited by Michael Klages and Jörn Thiede

Heft-Nr. 628/2011 — "The Expedition of the Research Vessel 'Polarstern' to the Antarctic in 2010 (ANT-XXVII/1)", edited by Karl Bumke

Heft-Nr. 629/2011 — "Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA: The expedition Eastern Laptev Sea - Buor Khaya Peninsula 2010" edited by Sebastian Wetterich, Pier Paul Overduin and Mikhail Grigoriev

Heft-Nr. 630/2011 — "Comparative aerosol studies based on multi-wavelength Raman LIDAR at Ny-Ålesund, Spitsbergen", by Anne Hoffmann

Heft-Nr. 631/2011 — "The Expedition of the Research Vessel 'Polarstern' to the Antarctic in 2010 (ANT-XXVI/4)", edited by Arne Körtzinger

Heft-Nr. 632/2011 — "The Expedition of the Research Vessel 'Polarstern' to the polar South Pacific in 2009/2010 (ANT-XXVI/2 - BIPOMAC)", edited by Rainer Gersonde

Heft-Nr. 633/2011 — "Investigation of Katabatic winds and Polynyas during Summer – IKAPOS Field Phase Report", by Günther Heinemann, Thomas Ernstdorf and Clemens Drüe"

Heft-Nr. 634/2011 — "The Expedition of the Research Vessel 'Polarstern' to the Antarctic in 2010/11 (ANT-XXVII/2)", edited by Eberhard Fahrbach

Heft-Nr. 635/2011 — "Direkte numerische Simulation von Salz fingern", by Thomas Zweigle

Heft-Nr. 636/2011 — "The joint Russian-German Expedition BERINGIA/KOLYMA 2008 during the International Polar Year (IPY) 2007/2008", edited by Sebastian Wetterich, Lutz Schirrmester and Aleksander L. Kholodov

Heft-Nr. 637/2011 — "The European Research Icebreaker AURORA BOREALIS Conceptual Design Study — Summary Report", edited by Lester Lembke-Jene, Nicole Biebow and Jörn Thiede