



Adrien Schoof (Autor)

Entwicklung und Untersuchung von 2,4-GHz-ISM-Funksystemen für Schiffsbrücken unter besonderer Berücksichtigung der EMV



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/1766>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

1. Einleitung

1.1. Problemstellung

Moderne Passagier- und Kreuzfahrtschiffe verfügen über eine Verkabelung, die selbst das Kabelaufkommen in Großraumflugzeugen weit übersteigen kann. So werden auf heutigen Kreuzfahrtschiffen mit einer Größe von über 70.000 BRZ¹ mehr als 2.000 km Energie-, Daten- und Kommunikationsleitungen sowie Kabel der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik verlegt. Die Komplexität der ständig zunehmenden Regelungs-, Steuerungs-, Unterhaltungs- und Überwachungselektronik spiegelt sich besonders im Bereich der Schiffsbrücke sowie der angrenzenden Elektronikräume wieder, wo, mit Ausnahme der Energieleitungen, die meisten Kabel zusammengeführt werden. Dementsprechend verfügen aktuelle Schiffsbrücken über eine sehr komplexe Verkabelung, welche sich durch die in der Regel räumlich großzügig verteilten Bedienelemente, Hilfsfahrstände und Anzeigen noch einmal deutlich erhöht.

Parallel zu den vielen unterschiedlichen Anzeigeelementen im Hauptfahrstand einer Schiffsbrücke ist dabei eine hohe Anzahl identischer, über den Brückenbereich verteilter Anzeigen vorhanden. Diese sogenannten Tochteranzeigen besitzen, im Gegensatz zu den Fahrständen, in der Regel keine Eingabeeinheiten und benötigen zur Visualisierung von Daten wie z.B. Geschwindigkeit, Antriebsleistung oder Windrichtung bei geringer Telegrammlänge Aktualisierungsraten im Sekundenbereich. Auch Eingabegeräte wie Mäuse, Tastaturen oder Trackballs erzeugen sehr geringe Datenflüsse. Viele der zur Verkabelung eingesetzten Datenleitungen übertragen dementsprechend Signale mit sehr geringen Bandbreiten, müssen bisher jedoch meist umständlich verkabelt werden.

Aus diesem Grund bietet es sich an, Datenleitungen, die ungefähr 40 % der Brückenverkabelung ausmachen, durch geeignete Funkübertragungssysteme zu ersetzen. Dieses könnte die notwendige Verkabelung auf die Energieversorgungsleitungen und damit auf ein Minimum reduzieren. Einen Hauptansatzpunkt stellen hierbei die über die Brücke verteilten Tochteranzeigen dar, da durch die großen Kabellängen zwischen Fahrständen und Tochteranzeigen hohe Verkabelungskosten entstehen. Darüber hinaus bestehen weitere Anwendungen in der drahtlosen Verbindung von Elektronikkomponenten innerhalb der Brückenkonsolen. Ohne die aufwändige Verkabelung entfielen die zugehörigen Lager-, Planungs- sowie Einbaukosten, da sich Funkverbindungen vollständig in die Geräte integrieren lassen und außerdem bei entsprechender Konfiguration in der Lage sind, ihre Verbindung zur Datenquelle selbstständig herzustellen.

¹ BRZ: Brutto Raumzahl, Maß für den umbauten Raum eines Schiffs

Die Einsparung von Kabeln ist jedoch nicht der einzige Vorteil, den eine derartige Technologie bietet. Neben der Vereinfachung der Montage ergeben sich erstmals neue Möglichkeiten zur nachträglichen Installation oder zur räumlichen Umordnung der Geräte, da lediglich ein Zugang zur in der Regel überall zugänglichen Stromversorgung benötigt wird. Auch lassen sich bequem ganze Datensätze zur Schiffsführung in Echtzeit auf mobile Anzeigen sowie z.B. Laptops übertragen und dort individuell darstellen oder auch weiter verarbeiten. Besonders die letzten beiden Punkte machen diese Technologie wegen ihrer vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten interessant.

Schließlich bieten sich auch in vielen weiteren Bereichen von Schiffen Anwendungsmöglichkeiten, um die vorhandene Verkabelung durch drahtlose Systeme zu ersetzen. Hier sind insbesondere Maschinen-, Klima- und Elektronikräume zu nennen, die sich ebenfalls durch eine Vielzahl an Mess-, Steuerungs- und Regelungssystemen auszeichnen. So befinden sich auf heutigen Frachtschiffen zwischen 1.000 und 2.000 Sensoren, von denen die Hälfte im Bereich des Maschinenraums untergebracht sind. Alleine die Hauptmaschine eines Frachtschiffs verfügt heutzutage über ca. 500 unterschiedliche Sensoren, z.B. zur Druck-, Temperatur- und Drehzahlmessung. Auf modernen Kreuzfahrtschiffen werden zusammen mit der Sensorik im Passagier- und Unterhaltungsbereich sogar zwischen 5.000 und 8.000 Sensoren integriert. Ließe sich zumindest ein Teil dieser Systeme über drahtlose Datenübertrager anbinden, würde auch dies zu einer schnelleren und vereinfachten Bauweise und damit letztlich zu einer deutlichen Kostenreduktion sowie weiterer, im Folgenden ausführlich diskutierter Vorteile führen.

1.2. Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Schrift gliedert sich in drei Teile, wobei im ersten Teil der Stand der Technik referiert und in den Teilen zwei und drei die eigenen Arbeiten dargestellt werden.

In Kapitel 2 wird die bestehende, konventionelle bzw. kabelgeführte Datenübertragung moderner Schiffsbrücken erläutert. Ebenso werden die im Hinblick auf drahtlose Datenübertrager wichtigen Datenströme beschrieben. Kapitel 3 gibt einen allgemeinen Überblick über die aktuellen drahtlosen Datenübertragungstechniken. Dabei werden zuerst Vor- und Nachteile gegenüber der kabelgeführten Datenübertragung diskutiert. Anschließend werden die bekanntesten Funkstandards bezüglich Anwendungen, Sendecharakteristika und Netztopologien beschrieben. Durch Zusammenfassen der Anforderungen an drahtlose Datenübertrager im Schiffbau erfolgt schließlich eine Eingrenzung der Funkübertragungstechniken in für diesen Anwendungsbereich geeignete Standards.

Im zweiten Teil der Arbeit, Kapitel 4 und 5, werden die ausgewählten Funkübertragungsstandards bezüglich ihrer Eignung zum Ersetzen von drahtgebundenen Systemen auf Schiffen untersucht. Hierzu werden in Kapitel 4 die grundlegenden Wechselwirkungen zwischen von den Funkübertragern erzeugten elektromagnetischen Feldern und leitfähigen Strukturen analysiert. Dabei werden sowohl Simulationen als auch Messungen an kommerziell erhältlichen

Funkübertragungssystemen durchgeführt. Kapitel 5 betrachtet die drahtlose Datenübertragung unter Berücksichtigung des Anwendungsbereichs „Schiff“ im Speziellen. Hierfür werden zuerst die besonderen Anforderungen an Datenübertragungssysteme innerhalb des Schiffbaus erörtert. Anschließend werden Messungen des elektromagnetischen Umfelds an Bord von Schiffen präsentiert, diskutiert und, unter Berücksichtigung der Ergebnisse sowie der Anforderungen an Funkübertrager, Störfestigkeitsmessungen an auf dem Markt verfügbaren Systemen durchgeführt.

Im dritten Teil, Kapitel 6, werden schließlich innerhalb dieser Arbeit entwickelte Demonstrationsmodelle und Langzeittestsysteme sowie die damit gewonnenen Ergebnisse und Erfahrungen dargestellt und bewertet. Hieraus wird ein Konzept für mögliche drahtlose Datenübertragungsanlagen auf Schiffen entwickelt und Anforderungen an Normen sowie Funkübertrager zusammengefasst.

2. Konventionelle, leitungsführte Datenübertragung auf Schiffsbrücken

2.1. Datenübertragung auf Schiffsbrücken

Der typische Aufbau einer modernen, integrierten Schiffsbrücke besteht aus einer Vielzahl elektronischer Anzeige-, Eingabe- und Datenverarbeitungsgeräte. Diese sind im Allgemeinen in Funktionseinheiten gruppiert.

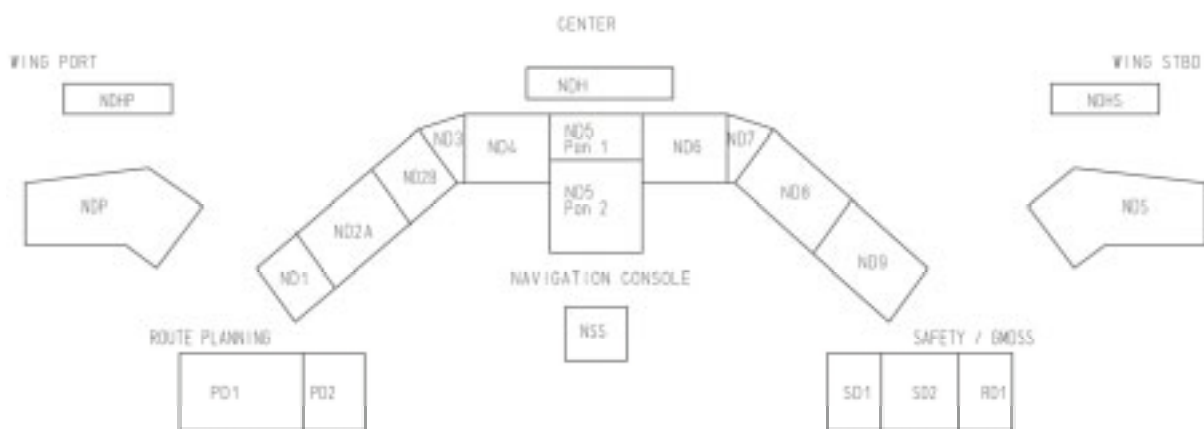


Abbildung 2.1: Gliederung der Brücke eines Fährschiffs. In der Mitte befindet sich der Hauptfahrstand mit dem Ruderstand, seitlich liegen der Kartenstand sowie der Sicherheitsstand und in den Nocken die Seitenfahrstände. Quelle: SAM Electronics [SAM]

Abbildung 2.1 zeigt die Brückenkonfiguration eines Fährschiffs. Zentrales Element der Brücke ist der Hauptfahrstand (ND1 bis ND9), von dem aus die ganze Brücke und große Teile des Schiffs einsehbar sind. Um einen seitlichen und rückwärtigen Überblick zu erlangen, befinden sich auf beiden Seiten der Brücke über das Schiff hinausragende sogenannte Brückennocken. In diesen befinden sich weitere vollwertige, aber in der Anzahl der Anzeige- und Bedienelemente eingeschränkte Seitenfahrstände (NDP und NDS). Diese dienen dem Manövrieren unter schwierigen Bedingungen, z.B. beim Wenden, Anlegen oder beim Einschleusen.

Neben den Fahrständen befinden sich in der Mitte der Brücke der Ruderstand (NSS) und im hinteren Bereich der Kartenstand (PD1 und PD2) sowie der Brandschutz-, Sicherheits- und Seefunkstand (SD1, SD2 und RD1). Um von jedem Punkt der Brücke aus eine schnelle Übersicht über die wichtigsten Parameter des Schiffs zu erhalten, befinden sich oberhalb der Fahrstände zusätzliche, von der Decke abgesetzte Tochteranzeigen (NDHP, NDH, NDHS), wie sie in Abbildung 2.2 gezeigt sind. Derartige Tochteranzeigen setzen sich aus 10 bis 20 unterschiedlichen Anzeigeelementen zusammen, die jeweils einzeln angesteuert werden. Je nach Größe der Brücke können wichtige Anzeigeelemente wie Schiffskurs oder Maschinenleistung

insgesamt mehr als zehnmals redundant an unterschiedlichen Stellen im Brückenbereich vorhanden sein.



Abbildung 2.2: Tochteranzeige über dem Seitenfahrstand eines Kreuzfahrtschiffs. In den Anzeigen werden die wichtigsten Größen wie Schiffskurs, Maschinenleistung und Ruderstellung schnell erkennbar dargestellt. Viele der Anzeigeelemente sind dabei ebenfalls im zur Tochteranzeige zugehörigen Seitenfahrstand vorhanden.

Zusätzlich zu den auf der Brücke befindlichen Systemen zur Steuerung des Schiffs liegen hinter sowie zum Teil unterhalb der Brücke mehrere Elektronikräume. In diesen befinden sich die Kommunikationselektronik, wie Satellitenfunk und Mobilfunk und unter anderem der Fahrtenschreiber. Der Anteil der Elektronik zur Steuerung der über das gesamte Schiff verteilten Kameras und Sensoren sowie der Anteil an Unterhaltungselektronik für die Passagiere nimmt dabei kontinuierlich gegenüber dem Anteil an konventioneller, nautischer Elektronik zu.

Die Datenverarbeitung innerhalb der Brücke findet durch mehrere gleichberechtigte Rechner statt, die gleichzeitig die Multifunktionsdisplays und die Tochteranzeigen ansteuern (Abbildung 2.3). Innerhalb des Hauptfahrstands befinden sich typischerweise zwei bis drei dieser Systeme, in den Seitenfahrständen jeweils eines. Die redundanten Rechner sind untereinander vernetzt, so dass Eingaben, Ausgaben, aber auch Änderungen am System automatisch auf alle anderen Gruppen übertragen werden. Die Versorgung der in der Decke befestigten Tochteranzeigen erfolgt über Schnittstellenleisten mit bis zu 30 seriellen Anschlüssen, welche mit den Rechnern verbunden sind.

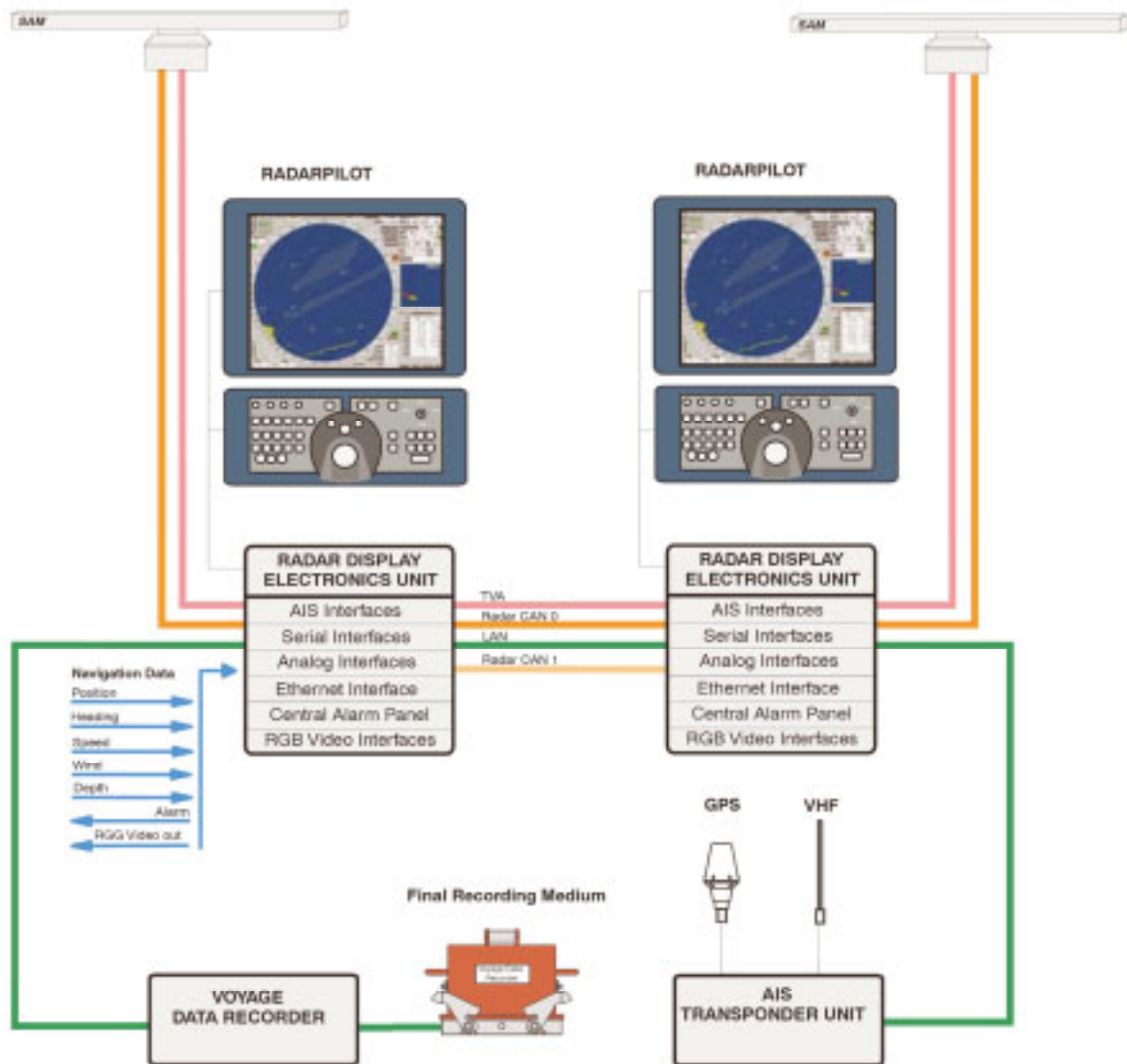


Abbildung 2.3: Ausschnitt aus dem Netzwerk zwischen den einzelnen Datenverarbeitungs- und Anzeigegeräten einer Schiffsbrücke sowie zu den außerhalb der Brücke liegenden Messgeräten und Datenschaibern, Foto: SAM Electronics [SAM]

Bedingt durch die hohe Anzahl redundanter Eingabe-, Datenverarbeitungs- und Anzeigeeinheiten kommt es erwartungsgemäß zu einem erheblichen Kabelaufkommen zwischen den einzelnen Komponenten. Diese sind innerhalb des doppelten Brückenbodens sowie der Decke verkabelt und werden in den Elektronikräumen miteinander verschaltet (Abbildung 2.4). Die gesamte Verkabelung besteht dabei typischerweise aus 200 bis 500 Einzelverbindungen [Ehrke04]. Die einzelnen Rechner sind entweder über Ethernet oder über CAN¹-Bus miteinander verbunden (Abbildung 2.3). Aufgrund der Anforderungen an die Kabelbeständigkeit gegenüber mechanischen und witterungsbedingten Einflüssen kommen ausschließlich robuste, geschirmte Kabel zum Einsatz. Im Fall des Netzkabels wird deswegen noch regelmä-

¹ CAN: Controller Area Network, Feldbussystem

ßig statt des heutzutage allgemein verwendeten 100 MBit/s schnellen S/UTP-Kabels¹ das über RG58-Koaxialleitung verlegte 10 MBit/s schnelle 10Base2- oder 10Base5-Netz verwendet, da hier aus der Radar- und Militärtechnik mechanisch robustere Kabel vorliegen.



Abbildung 2.4: Kabelstränge in einem hinter der Brücke liegenden Elektronikraum. Die Kabel führen über den doppelten Boden bzw. über die Decke zu den Anzeigen und Systemen auf der Brücke sowie zu weiteren Elektronikräumen im Deck unterhalb der Brücke.

Die Verbindung zwischen den Rechnern und den Tochteranzeigen erfolgt durch geschirmte Mehrfachleiter, wobei für jede Anzeige ein eigenständiges Kabel verwendet wird. Ein Einsatz von gebündelten Datenleitungen (Multiplex) zur Versorgung der Anzeigen wird zwar diskutiert, konnte sich, unter anderem wegen der bisher nicht geklärten Anforderungen an das entstehende Übertragungsprotokoll, jedoch noch nicht durchsetzen. Bedingt durch die baulich eingeschränkte Kabelführung entstehen allein im Brückenbereich Kabellängen von etlichen Kilometern, von denen ein Großteil auf Datenleitungen entfällt.

Da sich der Aufwand an Verkabelung bei den meisten heutigen Kreuzfahrt- und Passagierschiffen in einem vergleichbar hohen Rahmen bewegt, bietet sich der Ansatz an, Teile der Brückenverkabelung durch drahtlose Datenübertragungseinrichtungen zu ersetzen. Die Verkabelung zwischen den Konsolen würde sich damit zum Beispiel auf wesentliche Datenleitungen, wie die Leitungen zwischen den einzelnen Netzwerkknoten, sicherheitskritische Leitungen für z.B. die Notab- bzw. Umschaltungen und natürlich die Stromversorgung reduzieren. Die Verkabelung zu den Tochteranzeigen und Tocht ereingabegeräten, welche einen Großteil der Verkabelung ausmachen, ließe sich komplett auf die Stromversorgung beschränken.

¹ S/UTP: Screened / Unshielded Twisted Pair, Netzwerkkabel

2.2. Kabel und Kabelkategorien

Zur Vermeidung einer gegenseitigen Störbeeinflussung zwischen den im Schiffbau verwendeten Kabeln werden diese üblicherweise in fünf Kategorien eingeteilt. Die Verlegung erfolgt entweder auf getrennten Kabelbahnen oder auf gemeinsamen Kabelbahnen mit entsprechenden Mindestabständen oder geeigneten Entkopplungsmethoden zwischen den Kategorien. Die Kabel werden nach anlagenbedingten Übertragungsfunktionen folgenden Kategorien zugeordnet [GL89]:

- Kategorie 1: unempfindlich, störend,
- Kategorie 2: unempfindlich, wenig störend,
- Kategorie 3: empfindlich, nicht störend,
- Kategorie 4: sehr empfindlich, nicht störend,
- Kategorie 5: unempfindlich, stark störend.

Bei Parallelverlegung von Kabeln verschiedener Kategorien werden dabei die in Tabelle 2.1 aufgeführten Abstände eingehalten.

| Kabelkategorie | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 2 | 0,1 | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| 3 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,1 | 0,2 |
| 4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0 | 0,2 |
| 5 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0 |

Tabelle 2.1: Typische, im Schiffbau beim Verlegen von Kabeln zwischen den Kabeln unterschiedlicher Kategorien einzuhaltende Abstände in Metern

Tabelle 2.2 zeigt eine Einordnung der Kabel für typische Beispiele in die jeweiligen Kategorien. Die Verlegung in festgelegten Kategorien und Kabelbahnen schränkt die Flexibilität der Verkabelung im Schiffbau ein. Zumindest in den Elektronikräumen sind die Bereiche mit Funkelektronik, wie Satellitenkommunikation oder Funkanlagen sowie Bereiche mit herkömmlicher Datenverarbeitung zum Teil räumlich getrennt angeordnet. Hierdurch wird eine raumnahe Verlegung unterschiedlicher Kategorien vermieden. Gleichzeitig besitzt die Unterteilung und Verlegung in Kabelklassen den Vorteil, dass potentiell empfindliche Kabel als solche gekennzeichnet sind und räumlich getrennt vorliegen. Bei möglichen Bedenken einer Beeinflussung durch drahtlose Datenübertragungsdienste kann so leicht eine genügende Trennung gewährleistet werden.

| Kabelkategorie | Nutzsignale | Störsignale | Systemkabel | typische Leitungsarten |
|-----------------------------------|---|-----------------------------------|--|--|
| 1 unempfindlich, störend | 10 bis 1000 V DC, 50, 60, 400 Hz, schmalbandig | schmalbandig, breitbandig | Stromversorgungskabel, allgemeine Steuerkabel, Kabel für Beleuchtungsanlagen, Kabel für Alarmanlagen | verseilt und geschirmt |
| 2 unempfindlich, wenig störend | 0,1 bis 115 V, NF, schmalbandig | --- | Fernsprechkabel, Fernmelde- und Signalkabel, Kabel für Synchronverbindungen, Kabel für spannungs-, frequenz- und phasenabhängige Signalinformation | verdrillt, geschirmt und verseilt, geschirmt |
| 3 empfindlich, nicht störend | 0,1 bis 15 V, HF, breitbandig 15 bis 115 V, NF | breitbandig | Synchronverbindung, Videosignale, Synchronisation und Impulskabel kleiner Leistung, z.B. Multikoaxialkabel für digitale Datenübertragung | geschirmt oder koaxial |
| 4 sehr empfindlich, nicht störend | 0,1 bis 500 mV, 50 bis 2000 W, DC, NF, HF, schmalbandig | schmalbandig, breitbandig | Empfangsantennenkabel, Fernlenk- und Nachrichtenkabel, Kabel für Radarwarnempfänger | geschirmt oder koaxial |
| 5 unempfindlich, stark störend | schmalbandig | 10 bis 100 V NF, HF, schmalbandig | Kabel für Senderendstufen und Sendeantennen | koaxial |
| 6 Sonderkabel | --- | schmalbandig, breitbandig | Sendeempfängerkabel, Betriebsfunk, Kabel für Stromrichter, Datenbuskabel, Kabel für Anzünd- und Zündkreise, Mikrofonleitungen | --- |

Tabelle 2.2: Im Schiffbau verwendete Kabelkategorien, geordnet nach Nutz- und Störsignal sowie nach Anwendung. Zur Vermeidung gegenseitiger Störungen werden zwischen den einzelnen Kabelkategorien bei Parallelverlegung Mindestabstände (Tabelle 2.1) eingehalten [GL89].

Generell werden halogenfreie Kabel verwendet, um im Falle eines Brands die Bildung von Salzsäure und damit Brandfolgeschäden gering zu halten. Die im Zwischenboden oder auf Kabelbahnen unterhalb des Decks verlaufenden Kabel werden mit Schellen gegen eine Verschiebung bzw. Aufscheuern aufgrund der Schiffsbewegung gesichert (Abbildung 2.5). Zwischen getrennten Sektionen werden die Kabel durch Schottdurchführungen verlegt, die mit wasserdichter und feuerhemmender Vergussmasse ausgegossen werden. Bei Verlegung auf Deck sowie an kritischen Punkten werden die Kabel zur Verringerung von Beschädigungen in Schutzrohren verlegt [GL06, Scholl96, Thamm85].