

# Ansätze zur Reduzierung der Schallemission bei der akustischen Unterwasserkommunikation

Peter A. Höher

Technische Fakultät der  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

[ph@tf.uni-kiel.de](mailto:ph@tf.uni-kiel.de)

[www-ict.tf.uni-kiel.de](http://www-ict.tf.uni-kiel.de)

2. Kieler Marktplatz: Lärm im Meer

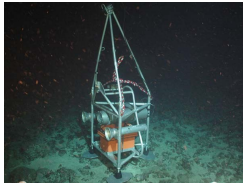
IHK Kiel, 18.05.2010



Unterwasservehikel



Unterwassertelefonie



Unterwasserobservatorien



Unterwasserbergbau



Viele Anwendungen sind in der **Meeresforschung** und **Meereserkundung** angesiedelt, aber auch im **Dienstleistungsbereich**

- ▶ Unterwasservehikel, bemannt (U-Boote) und unbemannt (ROV, AUV)
- ▶ Unterwassertelefonie (professionelle Taucher)
- ▶ Unterwasserobservatorien, Tiefseeobservatorien
- ▶ Unterwasserbergbau und Offshore-Industrie
- ▶ Frühwarnsysteme (Tsunamis, Erdbeben, Vulkane)
- ▶ Sensornetzwerke, Telemetrie, Fernsteuerung
- ▶ Umweltbeobachtung
- ▶ Erderkundung
- ▶ Militärische Anwendungen
- ▶ ...



Wir werden die Unterwasserkommunikation nicht verhindern können und wollen, sollten sie aber so **umweltverträglich** wie möglich gestalten



Optisch	Elektromagnetisch	Akustisch
Hohe Datenraten Extrem hohe Dämpfung Geringe Reichweiten Echtzeit-Übertragung Nur für gute Sicht Umweltverträglich	Mittlere Datenraten Dämpfung frequenzabhängig Reichweite frequenzabhängig Echtzeit-Übertragung Robust Bedingt Umweltverträglich	Niedrige Datenraten Mittlere bis kleine Dämpfung Mittlere bis große Reichweiten Große Signallaufzeiten Mehrwegeausbr. & Rauschen Schallemission

Optisch	Elektromagnetisch	Akustisch
Hohe Datenraten Extrem hohe Dämpfung Geringe Reichweiten Echtzeit-Übertragung Nur für gute Sicht Umweltverträglich	Mittlere Datenraten Dämpfung frequenzabhängig Reichweite frequenzabhängig Echtzeit-Übertragung Robust Bedingt Umweltverträglich	Niedrige Datenraten Mittlere bis kleine Dämpfung Mittlere bis große Reichweiten Große Signallaufzeiten Mehrwegeausbr. & Rauschen Schallemission



- ▶ In der zivilen Unterwasserkommunikation werden meist **Schallwellen im hörbaren Frequenzbereich** verwendet
- ▶ Der Unterwasserschallkanal ist durch eine zeitvariante **Mehrwegeausbreitung** sowie **natürliche Rauschquellen** (Muscheln, Krebse, Krabben, Fischeschwärme, usw.) und **künstliche Rauschquellen** (Schiffe, Bohrtürme, Echolote, Sonargeräte, usw.) charakterisiert  



Optisch	Elektromagnetisch	Akustisch
Hohe Datenraten Extrem hohe Dämpfung Geringe Reichweiten Echtzeit-Übertragung Nur für gute Sicht Umweltverträglich	Mittlere Datenraten Dämpfung frequenzabhängig Reichweite frequenzabhängig Echtzeit-Übertragung Robust Bedingt Umweltverträglich	Niedrige Datenraten Mittlere bis kleine Dämpfung Mittlere bis große Reichweiten Große Signallaufzeiten Mehrwegeausbr. & Rauschen Schallemission

- ▶ In der zivilen Unterwasserkommunikation werden meist **Schallwellen im hörbaren Frequenzbereich** verwendet
- ▶ Der Unterwasserschallkanal ist durch eine zeitvariante **Mehrwegeausbreitung** sowie **natürliche Rauschquellen** (Muscheln, Krebse, Krabben, Fischeschwärme, usw.) und **künstliche Rauschquellen** (Schiffe, Bohrtürme, Echolote, Sonargeräte, usw.) charakterisiert  

Der Empfänger muss in der Lage sein, aus dem **Wellengemisch** die ursprünglich gesendete Nachricht wieder herauszufiltern  

Optisch	Elektromagnetisch	Akustisch
Hohe Datenraten Extrem hohe Dämpfung Geringe Reichweiten Echtzeit-Übertragung Nur für gute Sicht Umweltverträglich	Mittlere Datenraten Dämpfung frequenzabhängig Reichweite frequenzabhängig Echtzeit-Übertragung Robust Bedingt Umweltverträglich	Niedrige Datenraten Mittlere bis kleine Dämpfung Mittlere bis große Reichweiten Große Signallaufzeiten Mehrwegeausbr. & Rauschen Schallemission

- ▶ In der zivilen Unterwasserkommunikation werden meist **Schallwellen im hörbaren Frequenzbereich** verwendet
- ▶ Der Unterwasserschallkanal ist durch eine zeitvariante **Mehrwegeausbreitung** sowie **natürliche Rauschquellen** (Muscheln, Krebse, Krabben, Fischeschwärme, usw.) und **künstliche Rauschquellen** (Schiffe, Bohrtürme, Echolote, Sonargeräte, usw.) charakterisiert  

Der Empfänger muss in der Lage sein, aus dem **Wellengemisch** die ursprünglich gesendete Nachricht wieder herauszufiltern  

Im folgenden werden verschiedene Möglichkeiten zur “umweltverträglichen” Unterwasserkommunikation vorgestellt

Wie können die widrigen Übertragungsbedingungen überwunden werden?

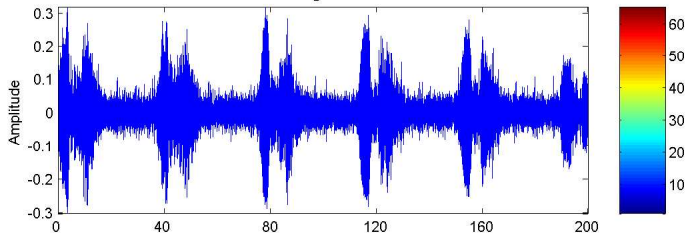


- ▶ **Delphine** und **Wale** scheinen das Problem der zeitvarianten Mehrwegeausbreitung gelöst zu haben
- ▶ Interessanterweise bedienen sich Meeressäuger verschiedener Techniken, die durch Analyse mittels eines **Sonogramms** sichtbar gemacht werden können

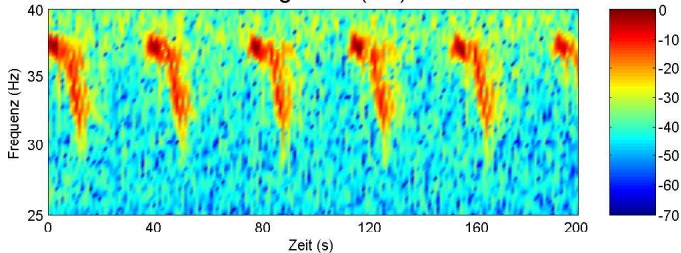
Bionische Signalformen (in Verbindung mit geringem Schalldruck) werden als wenig störend wahrgenommen

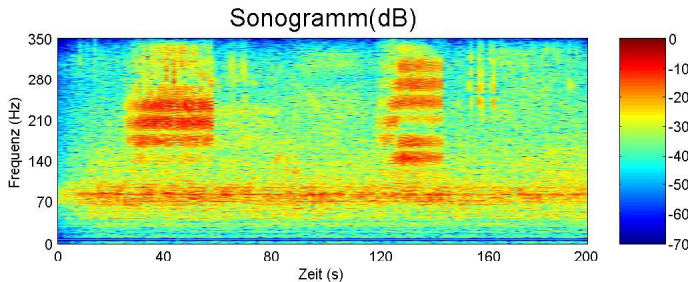
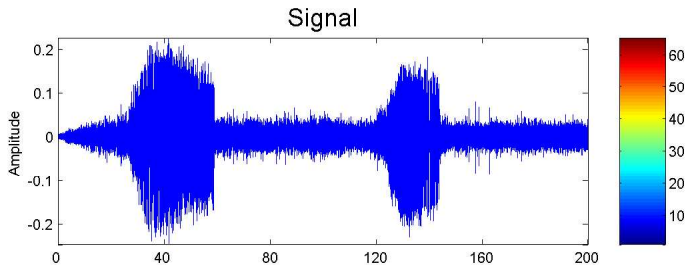


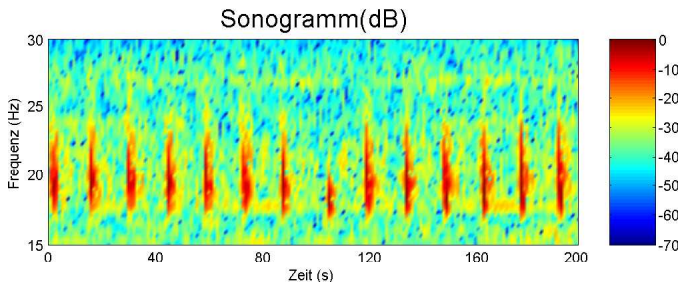
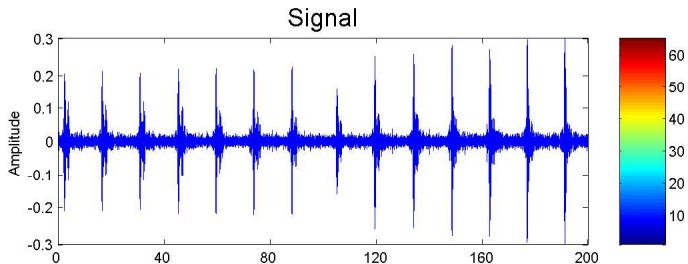
## Signal



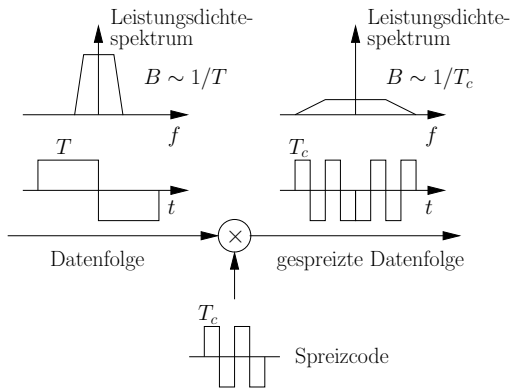
## Sonogramm(dB)



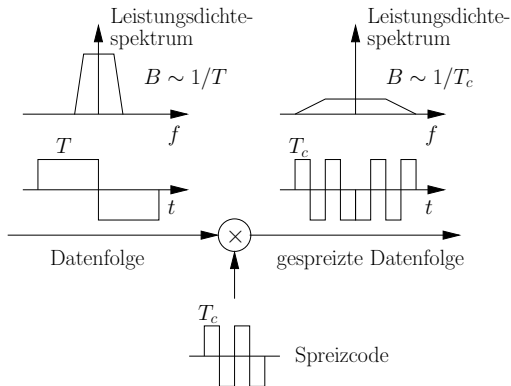




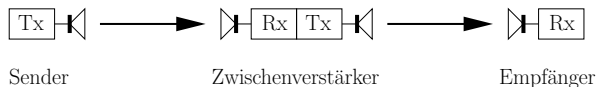
- ▶ Spreadband-Verfahren umfassen eine Klasse von Übertragungsverfahren, welche ursprünglich aus der Militärtechnik stammen
- ▶ Bei Spreadband-Verfahren werden die Daten in einer sehr großen Bandbreite übertragen
- ▶ **Dadurch ist ein Betrieb unterhalb des Rauschpegels möglich**



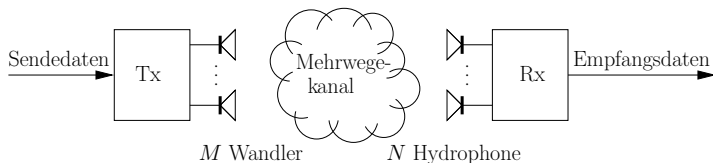
- ▶ In der Militärtechnik nutzt man Spreadband-Verfahren zur verdeckten Kommunikation und zur störresistenten Kommunikation
- ▶ Im UMTS-Mobilfunk nutzt man Spreadband-Verfahren, um viele Teilnehmer zu versorgen
- ▶ In der Unterwasserkommunikation sind herkömmliche Spreadband-Verfahren aufgrund geringer Kanalbandbreiten und der Zeitvarianz weniger effizient



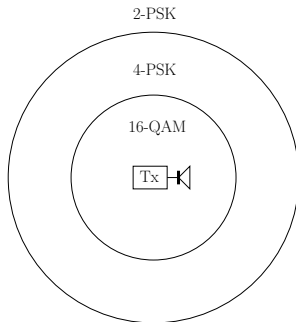
- ▶ In der Unterwasserkommunikation ist die Dämpfung üblicherweise relativ groß
- ▶ Dadurch muss eine hohe Sendeleistung aufgebracht werden, um große Distanzen zu überbrücken
- ▶ Durch regenerative Zwischenverstärker kann die Gesamtleistung erheblich reduziert werden
- ▶ Regenerative Zwischenverstärker kennt man z.B. von Seekabeln und der Satellitentechnik, in der Unterwasserkommunikation ist diese Technik relativ neu



- ▶ Unterwasserkanäle sind durch eine ausgeprägte Mehrwegeausbreitung charakterisiert
- ▶ Mehrwegeausbreitung verursacht Signaleinbrüche (“Fading”) und Abschattungszone (“Funklöcher”)
- ▶ Durch verteilte Transducer (= Schallwandler und Hydrophone) in Verbindung mit einer räumlich/zeitlichen Signalverarbeitung kann die Sendeleistung reduziert und/oder die Datenrate vergrößert werden



- ▶ In Unterwasserkommunikationssystemen werden üblicherweise nichtadaptive Übertragungsverfahren verwendet
- ▶ In schwierigen Situationen ist der Empfang schlecht oder sogar unmöglich, in guten Situationen ist die Schallemission zu groß
- ▶ Eine Alternative bilden leistungseffiziente, adaptive Modulations- und Codierverfahren: Datenrate und Sendeleistung werden automatisch an die jeweiligen Übertragungsbedingungen angepaßt

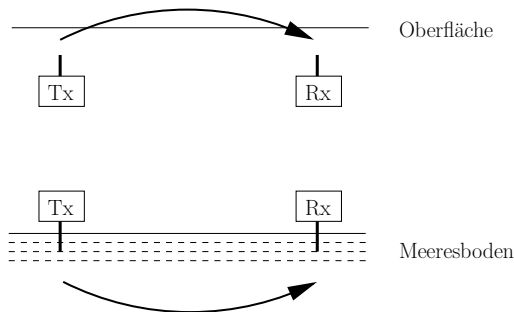




- ▶ Im Nahbereich (ca. 10 m) stellen optische Kommunikation und Radio-Kommunikation echte Alternativen zur akustischen Kommunikation dar
- ▶ Mit diesen Alternativen können höchste Datenraten umweltfreundlich übertragen werden



- ▶ Eine akustische Unterwasserkommunikation ist insbesondere im Flachwasser und im Tiefwasser schwierig
- ▶ Eine Alternative zur akustischen Flachwasser- und Tiefwasser-Kommunikation sind elektromagnetische Wellen, die größtenteils durch die Luft oder den Meeresboden übertragen werden
- ▶ Wie bei der Nahbereichskommunikation ist so eine umweltfreundliche Übertragung möglich



Optische Kommunikation und elektromagnetische Wellen stellen meist keine Alternative zur akustischen Unterwasserkommunikation dar  
(Ausnahmen: Nahbereichskommunikation, Boden/Luft-Kommunikation)

Optische Kommunikation und elektromagnetische Wellen stellen meist keine Alternative zur akustischen Unterwasserkommunikation dar (Ausnahmen: Nahbereichskommunikation, Boden/Luft-Kommunikation)

## Aber:

Es gibt eine Vielfalt von Möglichkeiten, um die Schallemission zu reduzieren

- ▶ Bionische Signalformen
- ▶ Spreizband-Verfahren
- ▶ Regenerative Zwischenverstärkung
- ▶ Verteilte Transducer
- ▶ Leistungseffiziente Übertragungsverfahren und kognitive Intelligenz