

Untersuchungen zum Einsatz von LORAN-C im Rahmen des MultiNAV-Projekts an der TU Dresden

R. Peters
TU Dresden, Geodätisches Institut
01062 Dresden
Ronald.Peters@mailbox.tu-dresden.de

1 Einführung

Ein halbes Jahrhundert alt und scheinbar von moderneren Technologien überholt, gehört LORAN-C, das terrestrische Hyperbelnavigationsverfahren, längst nicht zum alten Eisen. Im Gegenteil, je umfassender und tiefgreifender das Satellitenpositionierungssystem GPS in nahezu allen Bereichen Anwender findet, die von Positionsinformationen abhängen, desto augenscheinlicher wird der Bedarf an einem unabhängigen, redundanten System. Mit seinen zu Satellitennavigationsystemen komplementären Ausbreitungseigenschaften ergänzt LORAN-C optimal eben jene Systeme, ist in vielen Teilen der Welt verfügbar und bietet zudem mit Eurofix gleichzeitig einen weitreichenden Datenübertragungsdienst.

Das Grundprinzip von LORAN wurde in den 1940er Jahren aus militärischen Bedürfnissen heraus entwickelt und in den folgenden Jahrzehnten den Anforderungen von Luft- und Schifffahrt angepaßt. Mitte der 1970er Jahre wurde das System zur zivilen Nutzung freigegeben und fand vor allem in Nordamerika, teilweise auch in Nordwesteuropa, größere Verbreitung.

In Europa wird LORAN-C von einer Organisation betrieben, in der sich Dänemark, Frankreich, Deutschland, Irland, die Niederlande und Norwegen unter dem Namen Northwest European LORAN-C System (NELS) zusammengeschlossen haben.

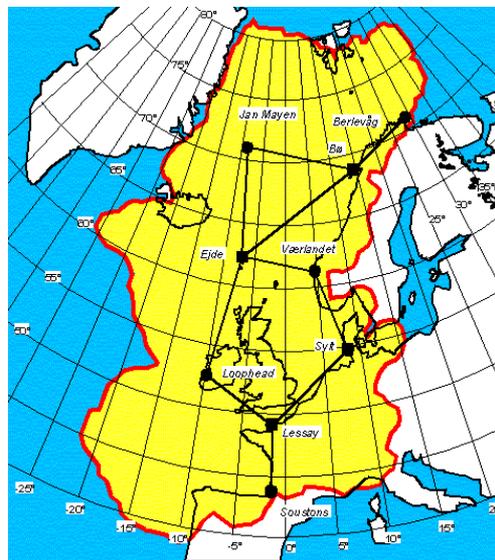


Abbildung 1: NELS-Stationen¹ und ihr vorausgerechnetes Überdeckungsgebiet

¹ inklusive des in Bau befindlichen Senders Loop Head

Im Rahmen des MultiNAV Projektes wurden Verfahren zur Integration verschiedener Navigationssensoren entwickelt. Projektpartner sind das Geodätische Institut der Technischen Universität Dresden (TUD) und Telematica e.K. Linden. Eine der Hauptaufgaben bestand in der Analyse des LORAN-C-Signalempfangs unter verschiedenen Bedingungen, woraus Rückschlüsse auf die derzeitigen Möglichkeiten und das zukünftige Potential dieses Systems zu ziehen waren.

An unterschiedlichen Standorten in und um Dresden, in Neustrelitz und auf der Insel Helgoland wurden statische Testmessungen durchgeführt, außerdem Testfahrten im Bundesgebiet und in den Niederlanden. So konnten Messungen innerhalb sowie am Rande des LORAN-C-Überdeckungsgebietes mit modernen LOCUS Satmate 1000 (E-Feld) bzw. 1020 (H-Feld) Empfängern untersucht werden.

2 Netzabdeckung

LORAN-C wurde in Europa als Navigationssystem für maritime Anwendungen konzipiert. Entsprechend liegen die europäischen Sendestationen entlang der Küste und decken primär die Schifffahrtswege im Nordatlantik ab. Ebenso gab es eine Senderkette im Mittelmeerraum, deren Stationen jedoch außer Betrieb sind.

Deutschland beherbergt zwar auf Sylt einen LORAN-C-Sender, profitiert mit seiner zentralen Lage auf dem europäischen Kontinent jedoch kaum von den anderen Stationen.

In umfangreichen Simulationsrechnungen wurde gezeigt, daß unter bestimmten Voraussetzungen mit nur zwei bis drei neuen Senderstandorten in Mitteleuropa die Verfügbarkeit von LORAN-C auf dem europäischen Kontinent erheblich gesteigert werden kann. Bisherige Messungen zeigten immer wieder die merklichen Einschränkungen durch die derzeit zu geringe Senderanzahl.

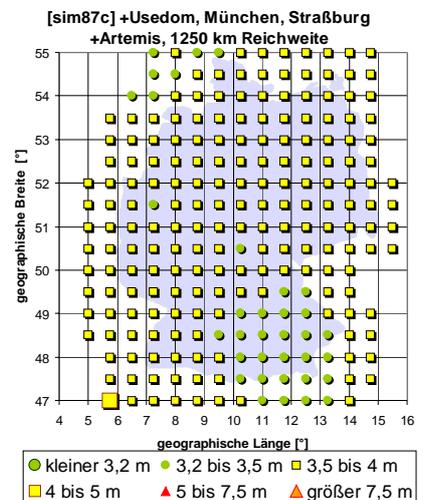
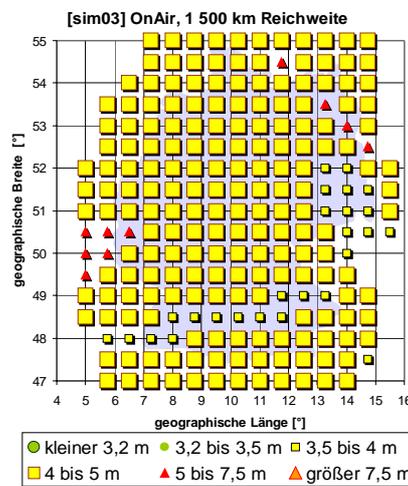
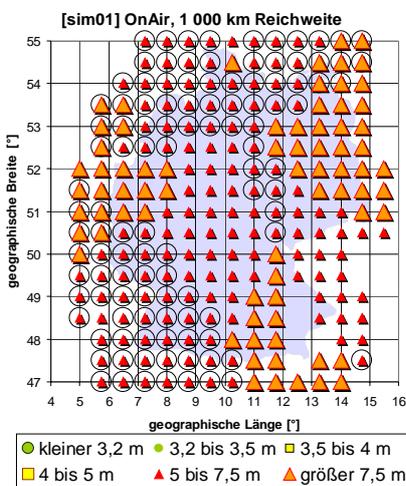


Abbildung 2: ⁽²⁾ angenommene Senderreichweite von 1000 km

Abbildung 3: angenommene Senderreichweite von 1500 km

Abbildung 4: Annahme weiterer Senderstationen, zusätzlich EGNOS als Signalquelle

simulierte Lagegenauigkeiten bei Annahme einer Standardabweichung von 5 m pro gemessener LORAN-C-Strecke und unterschiedlichen angenommenen Senderreichweiten

² Kreise kennzeichnen Punkte, an denen bei 1000 km Reichweite mind. 3 Sender empfangen werden

In Abbildung 2 und Abbildung 3 ist die Lagegenauigkeit von Punkten dargestellt, wie sie sich aus einer simulierten Netzausgleichung ergibt. Berücksichtigt wurden nur die tatsächlich in Betrieb befindlichen LORAN-C- und Chayka-Sendestationen bei unterschiedlicher angenommener Senderreichweite. Abbildung 4 zeigt eine optimierte Variante, die weitere vorgeschlagene Senderstandpunkte einbezieht, und zwar je einen neuen Sender genügend großer Reichweite

- im Süden von Deutschland bzw. im Raum Österreich
- im Nordosten Deutschlands bzw. in Schweden
- im Südwesten Deutschlands oder in Frankreich.

Diese vorgeschlagene Verteilung weniger neuer LORAN-C-Sender stellte sich als optimale Variante heraus, um Zentraleuropa – insbesondere Deutschland – mit einer guten LORAN-C-Infrastruktur zu versorgen. Außerdem wurde Artemis, der (planmäßig) nächstgelegene bzw. höchststehende EGNOS-Satellit als gleichwertige Signalquelle einbezogen.

3 Stationäre Tests

Dresden befindet sich außerhalb bzw. am äußersten Rand des LORAN-C-Überdeckungsgebietes. Obwohl hier eine Reihe Sender zu empfangen sind, ist nur bei wenigen die Signalqualität hoch genug für eine sinnvolle Auswertung. Am besten ist die etwa 500 km entfernte Station Sylt zu empfangen, welche in zwei Ketten sendet. Ebenfalls akzeptable Werte liefern die Sender Lessay und – mit Einschränkungen – Souston und Værlandet.

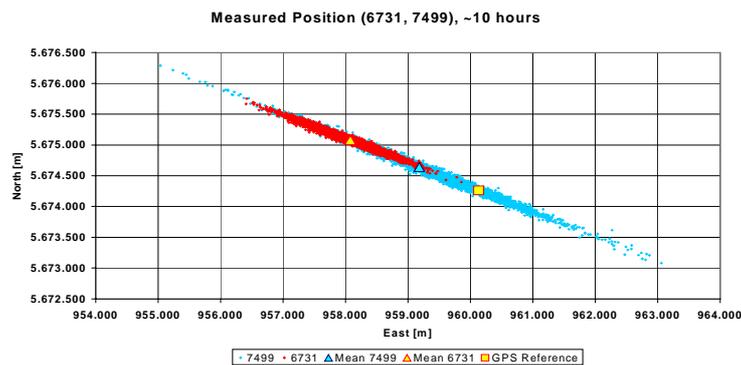


Abbildung 5: gemessene Positionen (10 h, 5-sec-Intervall), Satmate 1020, bei Dresden

Die schlechte Geometrie dieser Stationen bedingt die typische zigarrenförmige Form berechneter Positionen (Abbildung 5). Statt Positionslösungen zu berechnen, wurde stattdessen zweckmäßig das Verhalten der Signalkunftszeiten (TOA) beobachtet.

Abbildung 6 bis Abbildung 9 zeigt typische Messungen auf einem Gebäude der TU Dresden (Barkhausenbau), auf welchem kaum Störungen durch technische Infrastruktur des Bauwerks zu verzeichnen sind. Dargestellt sind im Vergleich Messungen mit dem Satmate 1000 (E-Feld, links) und dem Satmate 1020 (H-Feld, rechts), jeweils für Signale der Sender Lessay (oben) bzw. Sylt (unten). Sichtbar ist die erhebliche Verbesserung des H-Feld-Empfängers gegenüber dem E-Feld-Empfänger. Die Signalaufösung wird gut genug, um einen Tagesgang des Signals zu vermuten (Abbildung 7) oder temporäre Störeinflüsse auszumachen (Abbildung 9).

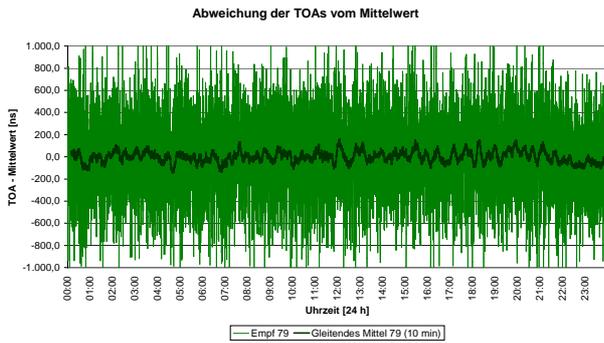


Abbildung 6: TOAs (25.05.2002), Sender 6731M (Lessay), E-Feld Empfänger BARK (Dresden), Std.abw. (1σ , 24 h) 841 μs

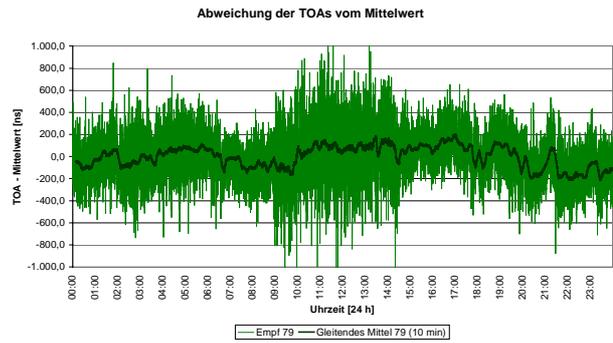


Abbildung 7: TOAs (25.02.2003), Sender 6731M (Lessay), H-Feld Empfänger BARK (Dresden), Std.abw. (1σ , 24 h) 209 μs

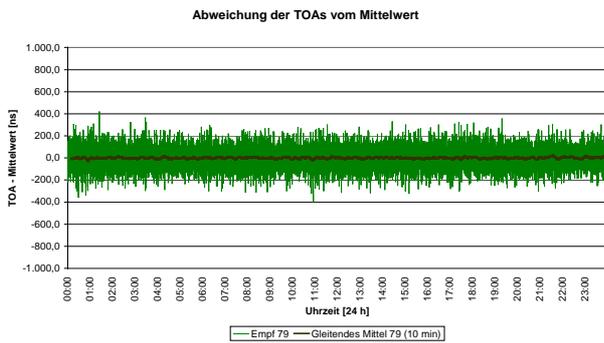


Abbildung 8: TOAs (25.05.2002), Sender 7499M (Sylt), E-Feld Empfänger BARK (Dresden), Std.abw. (1σ , 24 h) 92 μs

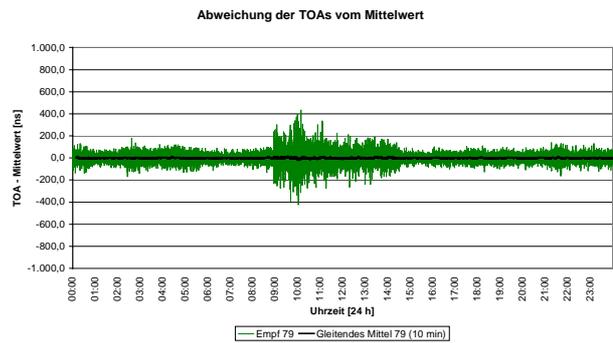


Abbildung 9: TOAs (25.02.2003), Sender 7499M (Sylt), H-Feld Empfänger BARK (Dresden), Std.abw. (1σ , 24 h) 50 μs

In anderen Fällen traten unerwartete Empfangsmuster auf. Ohne, daß äußere Einflüsse erkannt werden konnten, kamen vorübergehend oder längerfristig Störungen im Empfang vor. Ein Vergleich solcher Störungen zeigt ähnliche Einflüsse auf Signale von verschiedenen Sendern und läßt auf Ursachen im Umfeld des Empfängers schließen (Abbildung 10).

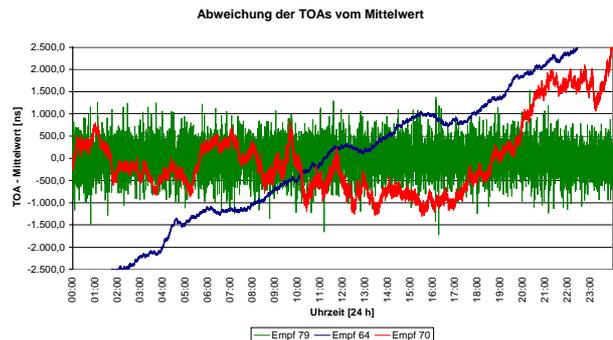
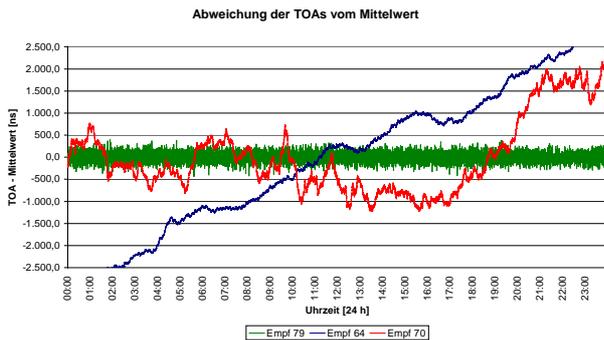


Abbildung 10: TOAs (25.02.2003), H-Feld Empfänger BARK (Dresden, 79), E-Feld Empfänger (Helgoland, 64), E-Feld Empfänger BEY (Dresden, 70); links: Sender 6731Z (Sylt), rechts: Sender 6731M (Lessay)



Abbildung 11: H-Feld-Antenne befestigt auf dem Dach des Bayerbaus, TU Dresden (BEY)

4 Mobile Tests

Mit mehreren Projektpartnern und unterschiedlicher Ausrüstung wurden Testfahrten in Nord- und Westdeutschland unternommen, um E-Feld- und H-Feld-Ausrüstung unter verschiedenen Bedingungen zu vergleichen. Tiefergehenden Untersuchungen waren notwendig, um störende Einflüsse der mitgeführten Rechner, der Stromversorgung und der Fahrzeuge selbst zu detektieren und zu minimieren. Als wesentlicher Aspekt aller Testfahrten ist festzustellen, daß die benutzte Empfängertechnik im mobilen Einsatz erheblichen Einschränkungen unterliegt. Zwar war LORAN-C entlang aller Teststrecken nahezu ununterbrochen verfügbar, während zum Vergleich mitgeführte GPS-Empfänger mitunter erhebliche Empfangslücken durch Signalverlust und Reakquisitionszeit aufwiesen. Die kontinuierlichen Positionslösungen unterliegen jedoch teils extremen Schwankungen, so daß nur längere Mittelungsintervalle eine Verwendung der Messungen zur Stützung bzw. Überbrückung anderer (i.e. GPS-) Lösungen sinnvoll erscheinen lassen.



Abbildung 12: Testausrüstung, Meßfahrt zwischen Reeuwijk und Frankfurt, November 2002

5 Fazit

Derzeit kommerziell verfügbare LORAN-C-Empfänger wurden maßgeblich für statische Anwendungen im Bereich der Zeitsynchronisation entwickelt. Sie wurden für die Empfangsverhältnisse auf dem nordamerikanischen Kontinent optimiert, welche durch eine größere Senderdichte resp. höhere Signalstärke charakterisiert sind. Um mit den vielfältigen Störquellen im dicht bebauten Europa zurechtzukommen, sind Empfänger mit speziell hierauf abgestimmten Eigenschaften und Filtertechniken notwendig. Solche werden von zwei europäischen Firmen entwickelt, wobei erste Ergebnisse vielversprechend sind.

Statische Beobachtung der verhältnismäßig nahegelegenen LORAN-Stationen lieferten über lange Zeiträume hinweg stabile TOA-Messungen mit geringer Standardabweichung. Daraus erschließt sich das hohe Potential von LORAN-C bei einer verdichteten Senderinfrastruktur. Deutlich wurde hingegen die Schwierigkeit der Empfänger, schwache (weil weiter entfernte) Signale zu verfolgen. Unverkennbar war die signifikante Verbesserung der Genauigkeit durch die Verwendung neuerer H-Feld-Empfänger.

Bei dynamischen Anwendungen hingegen konnten die Empfänger wiederholt nicht überzeugen und lieferten mitunter Ergebnisse, die nicht auswertbar waren.

LORAN-C wird auch mit verbesserter Empfängertechnologie nie als Konkurrenz zu satellitengestützten Verfahren zu verstehen sein. Gelingt jedoch eine intelligente Verknüpfung, wird es einen unverzichtbaren Beitrag zu einem integrierten Navigations- und Positionierungssystem liefern, welches hinsichtlich Verfügbarkeit, Genauigkeit und Integrität hohe Qualitätsmaßstäbe erfüllt.

6 Literatur

INDOORNAV 2001, International Symposium on Indoor Navigation, Munich July 2001, Proceedings, DGON Bonn, 2001.

Northwest European LORAN-C System (NELS), <http://www.nels.org>

Peters, Augath, Lechner, Gluch: Results of the MultiNav Project with Focus on H-Field Antenna Measurements, 3rd International Symposium on Integration of LORAN-C/EUROFIX and EGNOS/Galileo, München, 2002.

Peters, R.: Untersuchungen zum Einsatz von LORAN-C im Vermessungswesen, Diplomarbeit, Geodätisches Institut der TU Dresden, 2001.

POSNAV 2001, Symposium Positionierung und Navigation, Dresden März 2001, Tagungsband, DGON Bonn, 2001.

Die Untersuchungen wurden gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Förderkennzeichen 50NA0014.