

Akustisch-seismische Messungen zur Verifikation von Fahrzeug-Beschränkungen

JÜRGEN ALTMANN*, SERGEY LINEV*, AXEL WEISS+

* Bochumer Verifikationsprojekt, Institut für Experimentalphysik III, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum
 + Institut für Informatik, Humboldt-Universität Berlin, 10099 Berlin

1. Ziel

Das Bochumer Verifikationsprojekt (BVP) untersucht, ob automatische Sensorsysteme für die kooperative Verifikation von Abrüstungs- und Friedensabkommen geeignet sind. Nach einer Reihe von Experimenten an schweren militärischen Fahrzeugen sollte das Konzept 2000 der Anwendung näher gebracht werden. Dazu wurde eine Messstation entwickelt und einen Monat lang auf einem Militärgelände betrieben.

2. Sensorstation 2000

Gemeinsam mit dem Institut für Informatik der Humboldt-Universität Berlin entwickelte das BVP eine Sensorstation (Kell u.a. DAGA 01) - 4 Kanäle, spezieller ADC hoher Dynamik, digitaler Signalprozessor, Pentium 233 MHz, ca. 50 W -, die ein Mikrofon- und drei Geofonsignale (3D) mit Abtastraten von 20 bzw. 5 kHz aufnimmt. Die Signale werden in Echtzeit verarbeitet: In den Spektren der Schallsignale werden die Linien bestimmt und die dominante Obertonserie mit ihrer Grundfrequenz gesucht (Altmann DAGA 97 232f.) (Abb. 1); in allen Kanälen werden die Effektivwerte berechnet. Die Ergebnisse werden über Ethernet an einen Notebook-PC übertragen, dazu die Originalsignale und Wetterdaten. Die Daten werden auf Festplatte gespeichert und dann auf CD-ROM archiviert.

3. Messungen

Vom 12. Okt. bis 10. Nov. 2000 waren zwei Stationen auf dem Gelände der Wehrtechnischen Dienststelle 91 in Meppen aufgebaut. Bis 20. 10. wurden gezielte Messungen auf einer Betonstraße und drei parallelen Sandstrecken durchgeführt (+/-200 m). 5 Ketten- und 5 Radfahrzeuge fuhren mit 7 Geschwindigkeiten in zwei Richtungen. 5 Videokameras nahmen dabei automatisch Rundumbilder auf, das Wetter wurde ebenfalls erfasst. Zur Simulation einer Sensorkette waren zwei Stationen beiderseits der Fahrstrecken aufgebaut (Abstand 101 m).

Kette: Leopard 2, Leopard 1, M 48, Jaguar, Wiesel
Rad: Fuchs, Hermelin, MB 1017, Unimog, VW-Bus
Geschwindigk./ (km/h): 40, 30, 20, 15, 10, 5, min., Stand

4. Auswertungen

4.1 Fahrzeugtyperkennung

Für bessere Erkennung wurden für jede Durchfahrt die Zeitintervalle bestimmt, während der das akustische Signal klar über dem Untergrund war. In allen Spektren aus diesen Intervallen wurden die jeweiligen Linienfrequenzen normiert. Aus der Gesamthäufigkeitsverteilung wurde die wahrscheinlichste normierte Grundfrequenz bestimmt. Diese wurde den Einzelspektren zugeordnet und zusammengehörende Harmonische in benachbarten Spektren zusammengefasst (Abb. 2).

Die gefundenen stärksten Harmonischen passen zu den Zylinderzahlen. (Bei zwei Fahrzeugen waren zu wenige Harmonische für die Serienerkennung vertreten.)

Fahrzeug	Anzahl Zylinder	Stärkste Harmon.
Leopard 2	12	3, 9, 12
Leopard 1	10	5
M 48	12	6
Jaguar	8	6, 8
Wiesel	5	-
Fuchs	8	8
Hermelin	6	6, 12
MB 1017	6	3, (6)
Unimog	6	3, 6
VW-Bus	5	-

Aus den relativen Stärken der Harmonischen 1-15 wurden Mustervektoren gebildet. Mittels zufällig ausgewählter 7 Vektoren wurde eine Musterbibliothek erstellt (lernende Vektorquantisierung), die Erkennung wurde mittels weiterer 3 Vektoren geprüft. Über das gesamte ausgewählte Intervall ergaben sich die Anteile korrekter Erkennung von 80-98% für Ketten- und 48-62% für Radfahrzeuge. Bei getrennter Rechnung verbesserte sich das zu 85-98% bzw. 52-87%. Wurde dabei nur das Spektrum mit der höchsten Leistung benutzt, stiegen die Werte auf 86-99% bzw. 59-90%.

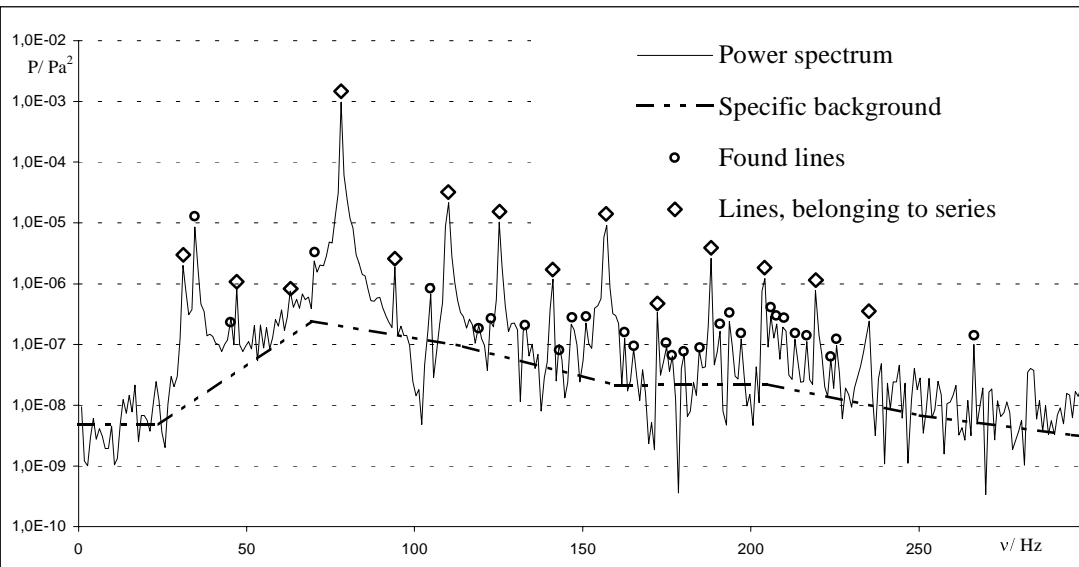


Abb. 1 Akustisches Leistungsspektrum, Kampfpanzer Leopard 1, 20 km/h, Spur 0, Station 1 (30 m links der Spurmitte). FFT 2048 Werte in 0.72 s. Erkannte Linien und harmonische Serie markiert, Grundfrequenz 15,68 Hz. Der aus den je niedrigsten Werten bestimmte spezifische Untergrund wurde in die Linienerkennung einbezogen.

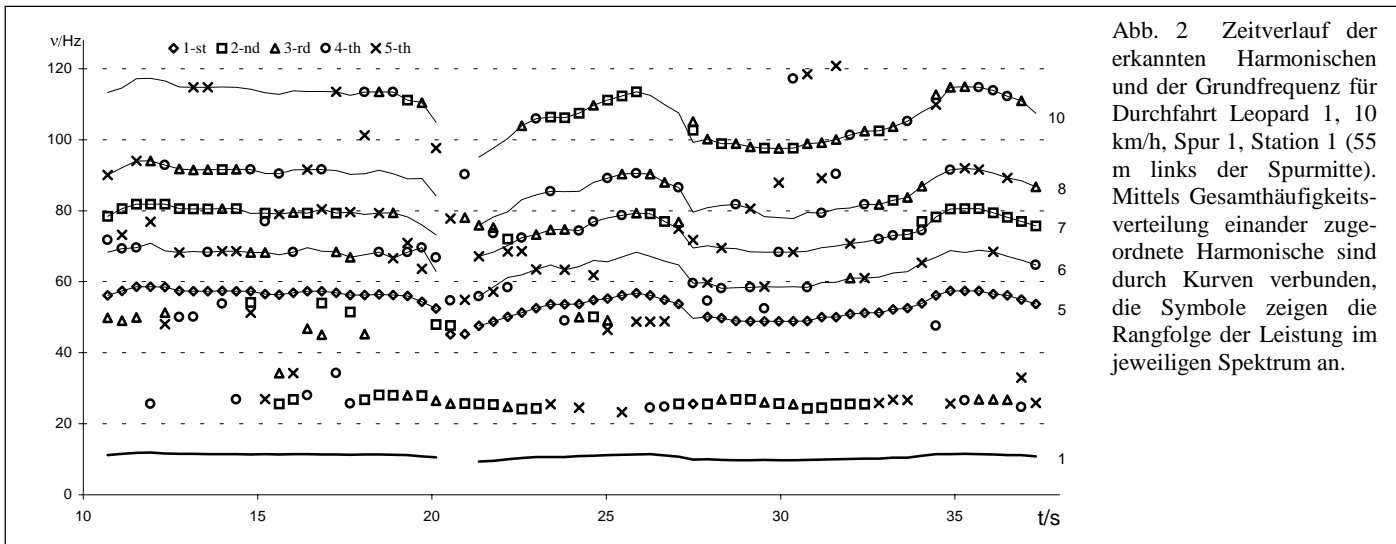


Abb. 2 Zeitverlauf der erkannten Harmonischen und der Grundfrequenz für Durchfahrt Leopard 1, 10 km/h, Spur 1, Station 1 (55 m links der Spurmittle). Mittels Gesamthäufigkeitsverteilung einander zugeordnete Harmonische sind durch Kurven verbunden, die Symbole zeigen die Rangfolge der Leistung in jeweiligen Spektrum an.

4.2 Amplituden

Bei der Auswertung der maximalen Effektivwerte zeigte sich, dass die akustischen i.d.R. systematisch mit der Sensorentfernung abfielen und sich zwischen links und rechts unterschieden. Dagegen variierten die seismischen Effektivwerte (ausgewertet: Vertikalkomponente) unsystematisch, ohne klaren Seitenunterschied.

Aus den maximalen akustischen und seismischen Amplituden lässt sich ein Kriterium für die Trennung zwischen Ketten- und Radantrieb gewinnen, das hier – zwischen 30 und 70 m Abstand - in 94% aller Fälle richtig funktioniert; die Fehler sind auf je ein kleines Ketten- und Radfahrzeug beschränkt (Abb. 3). Eine solche Vorsortierung verbessert die Typerkennung erheblich, s. 4.1.

4.3 Hintergrund

Die bei Ruhe gemessenen Hintergrundsignale (Effektivwerte 10 mPa bzw. 0,3 $\mu\text{m/s}$) sind v.a. durch elektronisches Rauschen bedingt. Einige Minuten lange Spitzen in der nächtlichen seismischen Amplitude sind wahrscheinlich durch in 2 km vorbei fahrende Züge bedingt; länger andauernde Erhöhung (auf 1 $\mu\text{m/s}$) wurde bei Regen beobachtet.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die maximalen bei einer Vorbeifahrt auftretenden akustischen und seismischen Amplituden ergeben ein robustes

Kriterium für die Unterscheidung zwischen Ketten- und Radantrieb. Mittels der relativen Stärke der Harmonischen in akustischen Frequenzserien können die Typen der gemessenen Kettenfahrzeuge sehr gut, die Radfahrzeuge gut bis befriedigend erkannt werden. Für die Signalverarbeitung und -übertragung in Echtzeit reicht ein 80486-Rechner mit 33 MHz; noch besser ist es, diese Aufgaben dem DSP zu übertragen. So könnte der Leistungsbedarf der Station auf etwa 5 oder gar 1 W reduziert werden, was Solarzellenversorgung erlaubt.

Eine solche Station sollte entwickelt werden und auf einem Militärgelände in Deutschland über einige Monate automatisch arbeiten. Eine darauf hin verbesserte Version sollte bei einem echten UNO-Friedenseinsatz über mehrere Wochen erprobt werden. Dann sollte das Konzept bei einer Firma in die Entwicklung gehen.

Dank

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Friedens- und Konfliktforschung gefördert. Wir danken dem Bundesministerium der Verteidigung, dem Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung sowie der Wehrtechnischen Dienststelle 91 für die Erlaubnis für diese Messungen und insbesondere dem Akustik-Dezernat der WtD 91 für die Unterstützung bei der Durchführung.

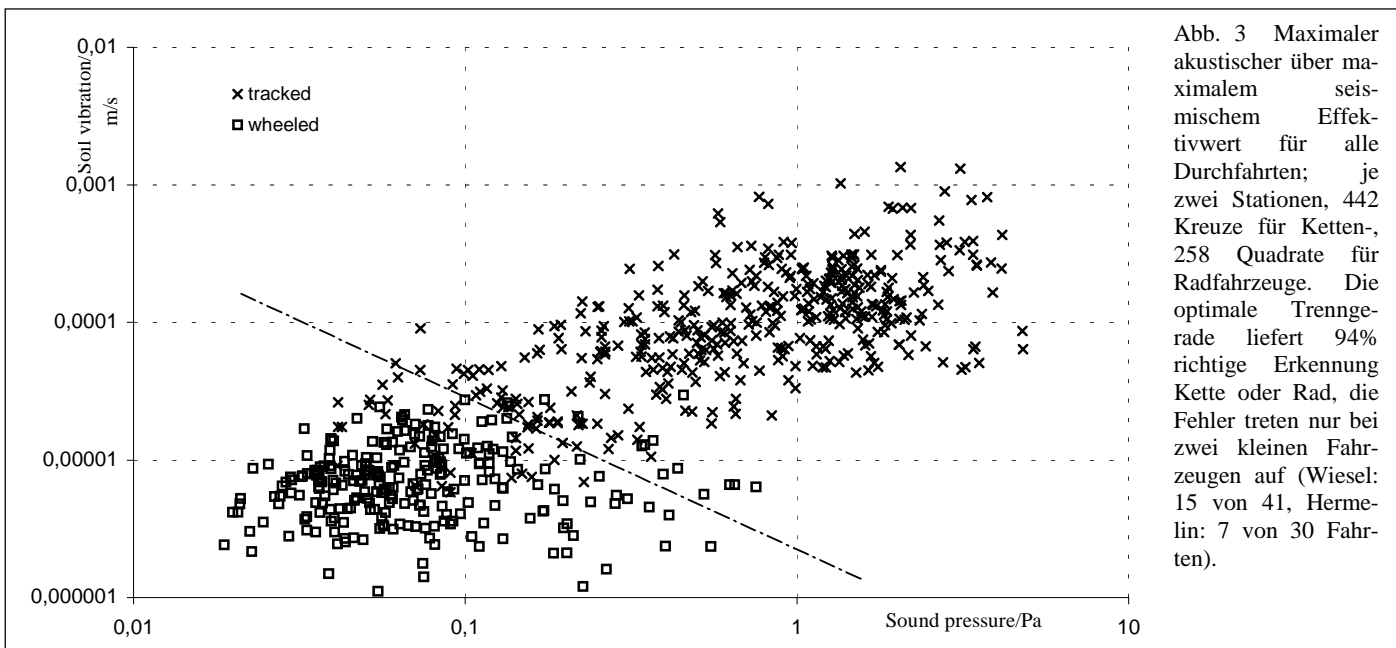


Abb. 3 Maximaler akustischer über maximalem seismischem Effektivwert für alle Durchfahrten; je zwei Stationen, 442 Kreuze für Ketten-, 258 Quadrate für Radfahrzeuge. Die optimale Trenngerade liefert 94% richtige Erkennung Kette oder Rad, die Fehler treten nur bei zwei kleinen Fahrzeugen auf (Wiesel: 15 von 41, Hermelin: 7 von 30 Fahrten).