

Vortrag zur Fachtagung

"SENSOREN - Technologie und Anwendung", Bad Nauheim 1994

## **Radar-Sensoren für Geschwindigkeit und Weg über Grund, sowie zur Erfassung der Länge von Zügen**

M. Joppich, P. Heide, R. Schubert und V. Mágori, München  
Zentrale Forschung und Entwicklung, Siemens AG

### **Zusammenfassung**

Mikrowellen-Doppler-Sensoren, sog. Radar-Sensoren, können die Geschwindigkeit und den Weg über Grund eines fahrenden Zuges berührungslos, schlupffrei und präzise messen. Ortsfest angeordnete Mikrowellen-Doppler-Sensoren können die für Eisenbahnsicherungssysteme bedeutsame Länge vorbeifahrender Züge sowie deren Geschwindigkeit mit guter Genauigkeit messen. Die Amplitudenverteilung der Dopplersignale und die Auswertung ihres Phasenverlaufes könnte eine Klassifizierung der Züge ermöglichen.

Neue Herstellungstechnologien für die Mikrowellen-Schlüsselkomponenten machen die Sensoren kostengünstig und kompakt. Intelligente Algorithmen und modellgestützte Signalverarbeitung sind effiziente Mittel, um den hohen Sicherheitsanforderungen in der Verkehrstechnik gerecht zu werden.

### **Einleitung**

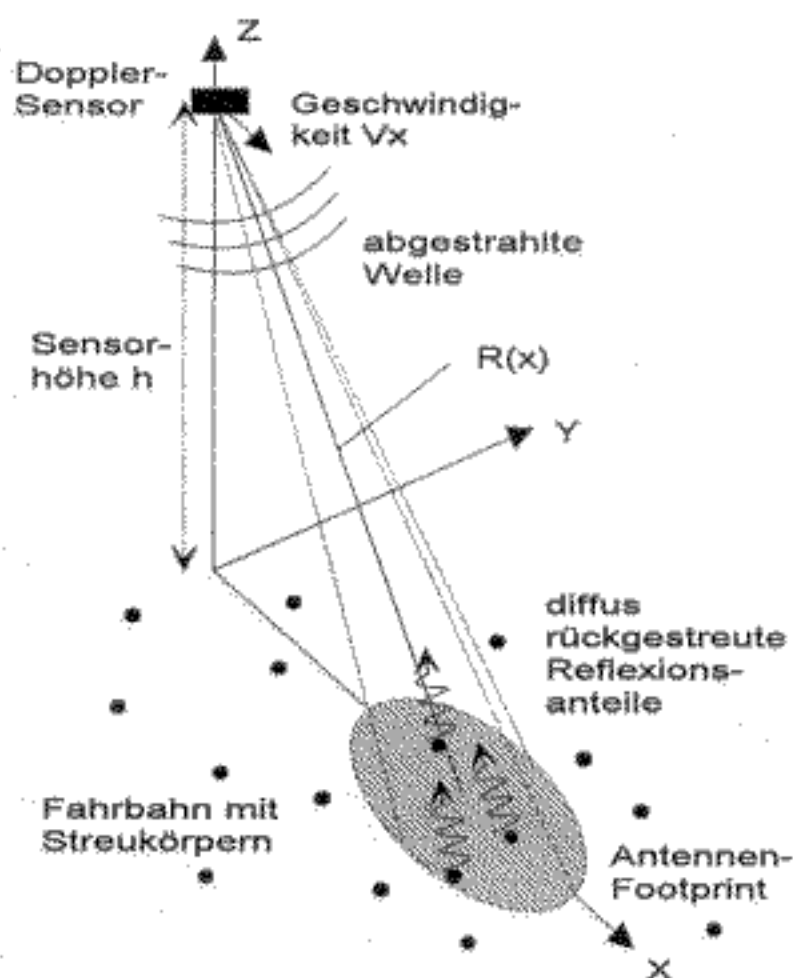
Die genaue Erfassung der momentanen Position sowie der Geschwindigkeit sind wichtige Aufgaben bei der autonomen Navigation von Zügen. Die Überprüfung von Zügen auf ihre Länge ermöglicht es, mit relativ geringem Aufwand zu erkennen, ob ein in einen Streckenabschnitt eingefahrener Zug diesen auch vollständig wieder verläßt; eine äußerst wichtige Frage für die Eisenbahnsicherungstechnik.

Radarsysteme, wie sie seit langem im militärischen Bereich, in der Luft- und Raumfahrttechnik sowie in der Schifffahrt eingesetzt werden, finden in zunehmendem Maße Anwendung bei Straßen- und Schienenfahrzeugen. Ermöglicht wird dies durch den Einsatz kostengünstiger Mikrowellenkomponenten, welche beispielsweise für private Satellitenempfangsanlagen in großen Stückzahlen hergestellt werden. Gleichzeitig erlaubt der Einsatz digitaler Signalprozessoren neue Wege in der Signalverarbeitung.

Der vorliegende Artikel zeigt anhand von zwei Beispielen aus der Verkehrstechnik, wie mit kostengünstigen Mikrowellenkomponenten und einer angepaßten Signalverarbeitung Mikrowellen-Radar-Sensoren für die berührungslose Geschwindigkeits- und Wegmessung nach dem Doppler-Prinzip erfolgreich eingesetzt werden können.

### Geschwindigkeitsmessung über Grund

Zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung nach dem Doppler-Prinzip wird ein Mikrowellenbündel schräg auf den Boden gestrahlt (Bild 1). Die Frequenz des von den Bodenunebenheiten und ähnlichen Diskontinuitäten diffus rückgestreuten Signals ist wegen des Dopplereffektes proportional zur Relativgeschwindigkeit zwischen Fahrzeug und Boden verschoben [1]. Für Ortungsaufgaben, bei denen Züge ihre eigene Position zwischen festen Stützpunkten ("elektronische Meilensteine", sogenannten Balisen) mit hoher Genauigkeit bestimmen müssen, wird die so ermittelte Geschwindigkeit aufintegriert. Ziel derzeitiger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist es, Schwachstellen bisheriger Doppler-Sensoren, wie die Abhängigkeit der Meßergebnisse von der Art des Untergrundes, zu analysieren und zu beseitigen. Bild 2 zeigt als Beispiel die Möglichkeit, den Einfluß von Verkippungen des Sensors auf seine Genauigkeit durch Abstrahlen in zwei symmetrische Strahlungskeulen mit Hilfe einer sog. "Janus"-Antenne zu kompensieren [2]. Bei Verkippung der Antenne ergibt sich aus einer der beiden Keulen eine erhöhte, bei der anderen eine entsprechend erniedrigte Dopplerfrequenz, der Mittelwert aus diesen beiden entspricht nahezu der bei unverkippter Antenne.

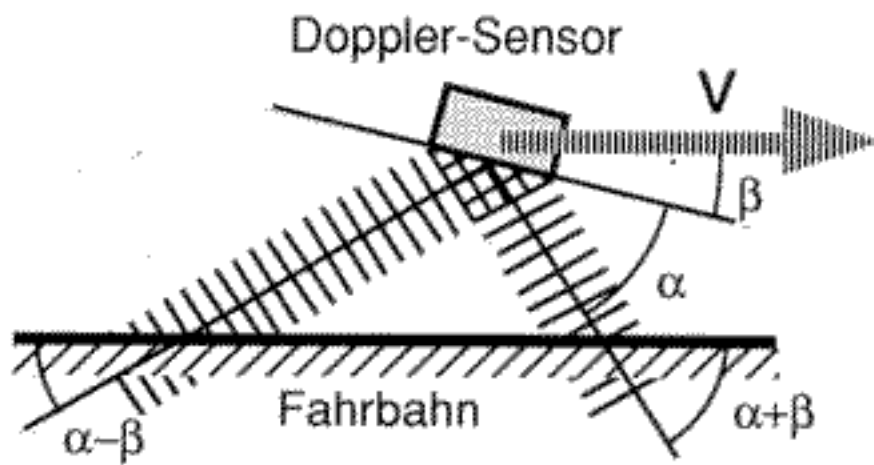


**Bild 1:** Prinzip der Geschwindigkeits-/Wegmessung mit dem Radar-Doppler-Verfahren

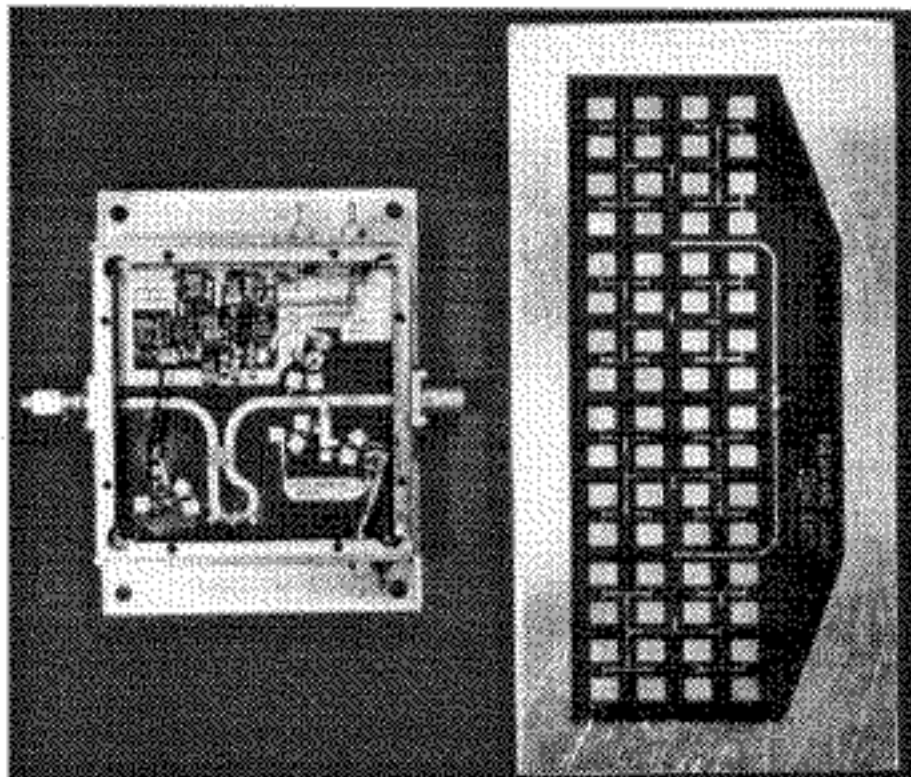
keulen mit Hilfe einer sog. "Janus"-Antenne zu kompensieren [2]. Bei Verkippung der Antenne ergibt sich aus einer der beiden Keulen eine erhöhte, bei der anderen eine entsprechend erniedrigte Dopplerfrequenz, der Mittelwert aus diesen beiden entspricht nahezu der bei unverkippter Antenne.

Ein wesentlicher Vorteil der Radartechnik gegenüber anderen Verfahren zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung wie z.B. optischen Verfahren ist die weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber Witterungseinflüssen.

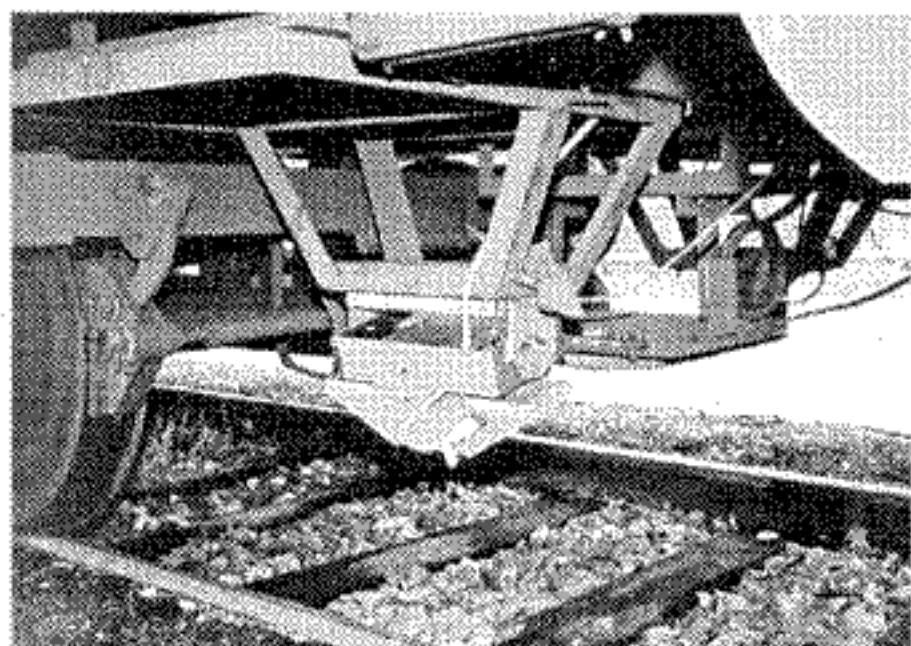
Fortschritte wurden vor allem in der Signalverarbeitung mit Digitalen Signalprozessoren (DSP) erzielt. Die Meßfehler bei wechselnder Un-



**Bild 2:** Kompensation von Verkippungen ( $\beta$ ) des Sensors durch eine sog. "Janus"-Antenne



**Bild 3:** Dielektrisch stabilisierter 24 GHz-Grundwellenoszillator und "Janus"-Antenne [3].

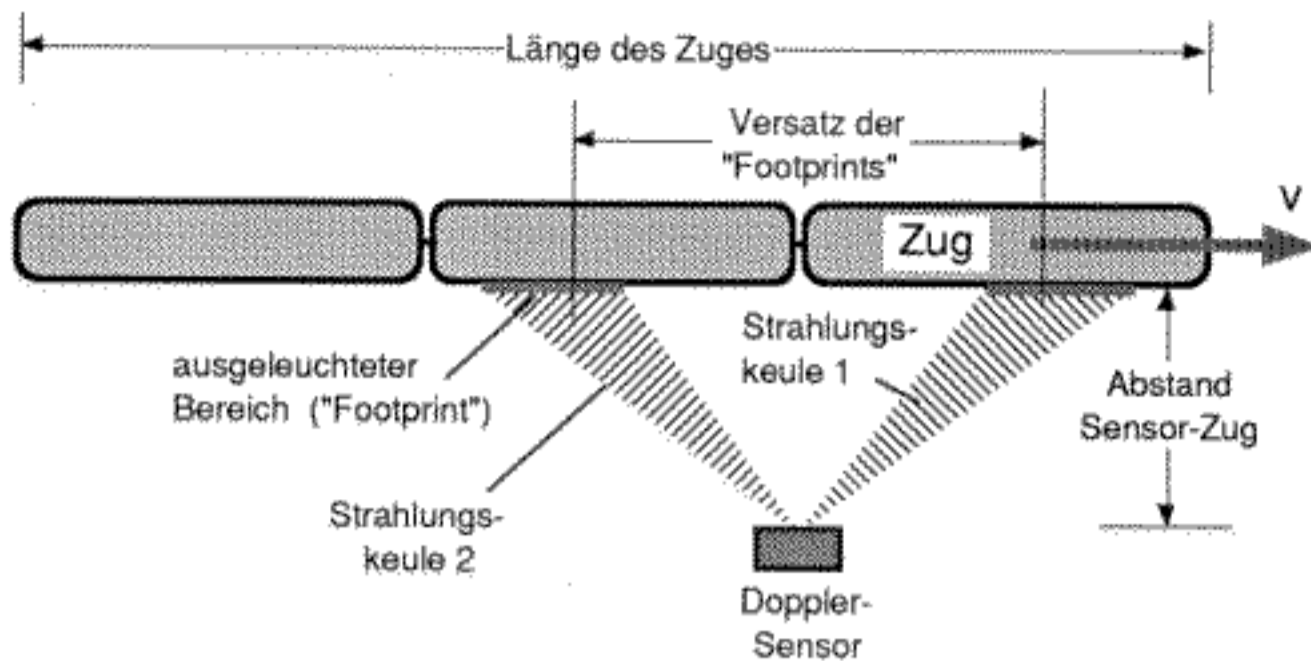


**Bild 4:** Doppler-Sensor im bahntauglichen Gehäuse an der Unterseite eines Eisenbahnwagens

tergrundbeschaffenheit (z.B. Eisenschwellen, Holzschwellen oder Betonschwellen) wurden durch einen Algorithmus, der das sensorspezifische Vorwissen über die Art des Zustandekommens der Dopplerverschiebung der rückgestreuten Signale berücksichtigt, erheblich reduziert. Die maximale Abweichung auf 1000 m Wegstrecke liegt typischerweise bei 5 m.

Weitere Verbesserungen, insbesondere auch der Mikrowellenkomponenten, werden künftig eine Steigerung der Genauigkeit ( $\pm 2$  m auf 1000 m oder besser) ermöglichen. Ein Labormuster eines neu entwickelten Dopplersensors, auf der Grundlage eines HEMT-Mikrowellenoszillators, welcher mit einem dielektrischen Resonator stabilisiert wird, sowie eine in planarer Technik verwirklichte Janus-Antenne, ist in Bild 3 dargestellt [3]. Der Oszillator schwingt auf der Grundwelle bei 24 GHz und ist somit im Gegensatz zu Verdoppleroszillatoren [2] vom Prinzip her völlig frei von Störemissionen im 12 GHz-Band, das für die Satellitenkommunikation benützt wird. Darüber hinaus weist er eine höhere Betriebssicherheit und eine bessere Temperaturstabilität auf. In Bild 4 ist ein Mikrowellen-Doppler-Sensor zu sehen, wie er an der Unterseite eines Eisenbahnwagens bei einer Meßfahrt montiert war.





**Bild 5:** Anordnung des Mikrowellen-Janus-Sensors bezüglich des Zuges zur Zuglängenerfassung

### Zuglängenmessung

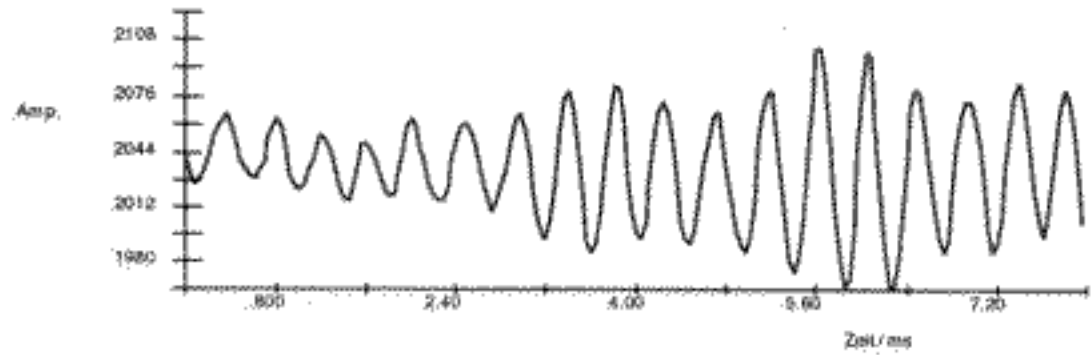
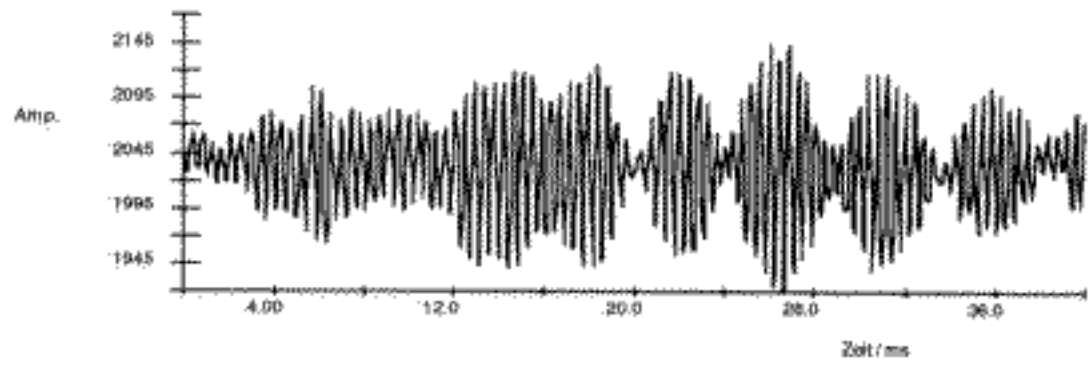
Zur Gleisfreimeldung wird nach dem Stand der Technik beispielsweise die Zahl der Achsen gezählt, die in einen Gleisabschnitt eintreten, bzw. aus ihm austreten. Der Gleisabschnitt wird nur dann freigegeben, wenn die Zahl der ausgetretenen Achsen gleich der der eingetretenen ist. Eine Alternative hierzu wäre die Messung der Zuglänge am Anfang und am Ende eines Gleisabschnittes. Mit ortsfest montierten Mikrowellen-Doppler-Systemen ist es möglich, die Geschwindigkeit und durch Integration die Länge vorbeifahrender Züge zu messen. Ein Gleisabschnitt kann dann als frei gelten, wenn die Länge des Zuges beim Austritt der beim Eintritt entspricht. Wie in Bild 5 skizziert und in Bild 6 am Beispiel der Längenmessung an einer S-Bahn dargestellt, wurde ein 24 GHz-Doppler-Sensor mit Janus-Antenne (zwei symmetrische



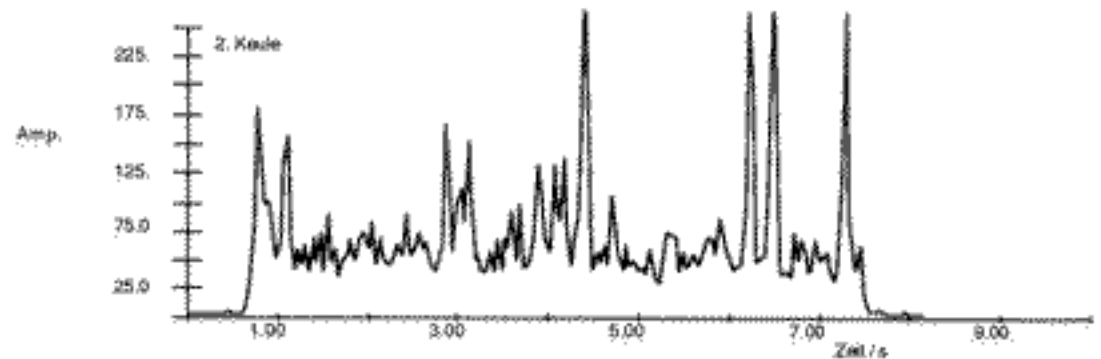
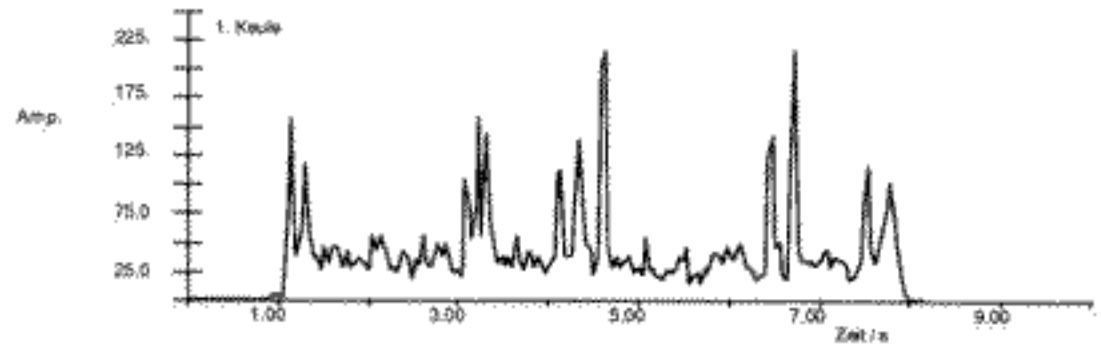
**Bild 6:** Messung der Zuglänge an einer S-Bahn mit 24 GHz-Doppler-Sensor mit "Janus"-Antenne

Strahlungskeulen) am Rande des Gleisbettes auf einem Stativ montiert. In Bild 7 ist das Dopplersignal bei der Vorbeifahrt einer S-Bahn in verschiedenen Zeitmaßstäben dargestellt. Die charakteristischen Auslöschungen rühren von der Überlagerung der Reflexion an verschiedenen Teilen der S-Bahn. Die Frequenz ist ein Maß für die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Züge. Wegen des statistischen Charakters der Dopplersignale ist eine dedizierte Auswertung notwendig.

**Bild 7:** Doppler-Rohsignale in unterschiedlichen Zeitmaßstäben, ein Wellenzug entspricht einem Anteil von ca 9 mm der gesamten Zuglänge

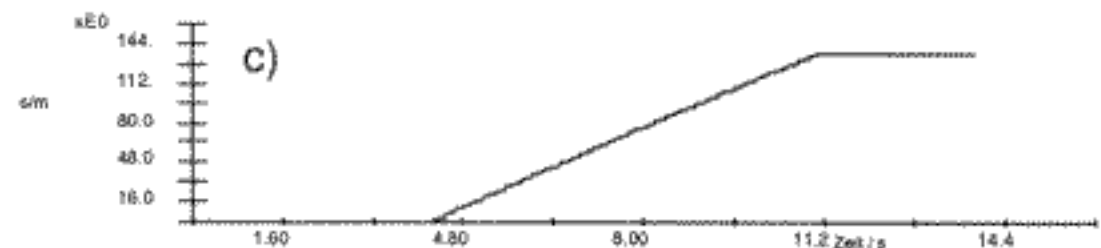
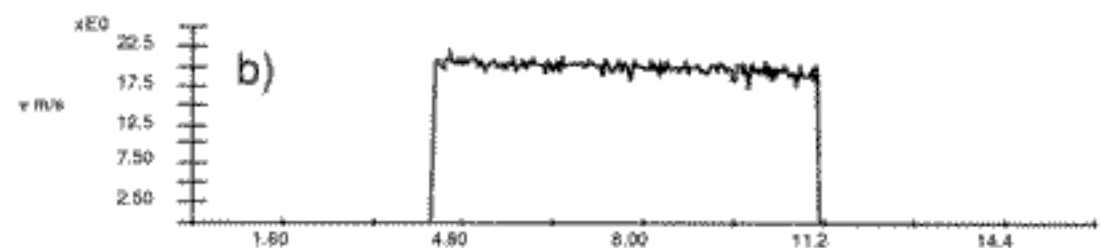
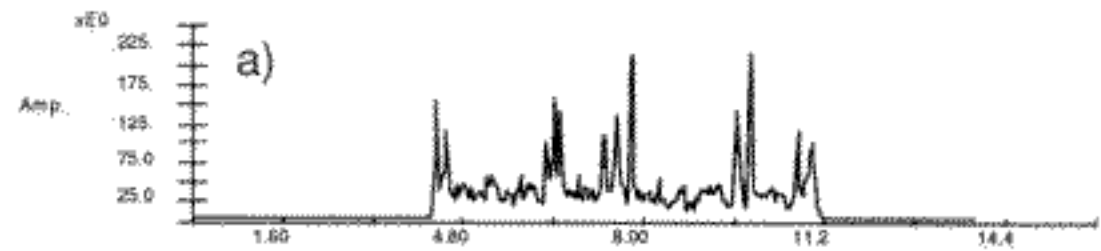


**Bild 8:** Amplitudenverlauf der Dopplersignale beider Antennenabstrahlrichtungen bei Vorbeifahrt einer S-Bahn



**Bild 9:** Bestimmung der Länge eines vorbeifahrenden Zuges:

- a) Amplitude des Dopplersignals
- b) Geschwindigkeit
- c) Länge des Zuges = aufintegrierte Geschwindigkeit



Eine Dopplerperiode entspricht aufgrund des Winkels zwischen Mikrowellenbündel und Geschwindigkeitsvektor  $v$  einer gefahrenen Strecke von  $\Delta s = \lambda / (2 \cos \alpha)$ . Für die Parameter der Testanordnung ergibt sich  $\Delta s \approx 9 \text{ mm}$ . Eine einfache Signalauswertung könnte somit im Zählen der Wellenperioden bestehen. Für die praktische Anwendung versprechen sensorspezifische Algorithmen, die die Natur des Zustandekommens des Dopplersignals berücksichtigen, bessere Ergebnisse.

Bild 8 zeigt die Amplitudenverläufe der Dopplersignale der beiden Strahlungskeulen der "Janus"-Antenne. Wegen der unterschiedlichen Orientierung der beiden Keulen (in und gegen die Fahrtrichtung) sind die Signale ähnlich, jedoch zeitlich zueinander versetzt. Durch Auswertung des zeitlichen Versatzes der Signale (z.B. durch Korrelationsverfahren) kann auf die Entfernung zwischen Zug und Antenne des Doppler-Sensors geschlossen werden und insbesondere unterschieden werden, auf welchem Gleis der Zug fährt. Die Strukturierung der Signale ist für die jeweilige Zugart charakteristisch.

Bild 9 veranschaulicht die Messung der Länge vorbeifahrender Züge. Die aus der Dopplerfrequenz bestimmte Momentangeschwindigkeit (mittlere Kurve) ist praktisch unbeeinflusst von den beträchtlichen Amplitudenschwankungen (obere Kurve), die aufgrund der spezifischen Reflexionseigenschaften auftreten. Durch Integration der Geschwindigkeit während des Zeitintervalls, in welchem Dopplersignale auftreten, erhält man schließlich die Information über die Länge des vorbeifahrenden Zuges (in unserem Beispiel 144 m - untere Kurve). Die Genauigkeit der Längenmessung erwies sich als besser als  $\pm 1\%$  [4]. Gegenüber der konventionellen Achszählung ist dieses System kostengünstiger und wartungsfreundlicher, da keine Komponenten ins Schotterbett eingelassen sind.

Bei Auswertung der Phaseninformation der Dopplersignale beinhaltet das Verfahren, über die Zuglängenmessung hinausgehend, das Potential zur Detektion von Strukturmerkmalen vorbeifahrender Züge (vergl. andere Verfahren der Apertursynthese [5]), wodurch eine Unterscheidung von Personenzügen, Güterzügen, ICEs usw. prinzipiell möglich ist.

#### Literatur

- [1] Heide, P.; Joppich, M.; Schubert, R.: Berührungslose Geschwindigkeitsmessung nach dem Dopplerprinzip mit Ultraschall und Mikrowellen. VDI-Berichte 993, 1992, 159-164.
- [2] Kehrbeck, J.; Heidrich, E.; Lebherz, M.; Wiesbeck, W.: Planarer Doppler-Radar-Sensor bei 24 GHz. HF-Report 1991. (2) pp. 66-70.
- [3] Heide P.; Mágori V.; Schubert R.; Schwarte R.: 24 GHz low-cost doppler sensor with fundamental frequency GaAs pseudomorphic HEMT oscillator stabilized by dielectric resonator operating in high order mode, IEEE, GAAS '94 (in Vorbereitung)
- [4] Technischer Bericht TV 8808A1 TB3 Beeinflussungssichere Gleisfreimeldeanlagen (für BMFT): Zuglängenmessung mit Doppler-Radar. 1993 (Siemens).
- [5] Klausning, H.: Realisierbarkeit eines Radars mit synthetischer Apertur durch rotierende Antennen. Frequenz, 1991. 45 (1-2) pp. 51-58.

R. Schubert has started up his own business in Berlin in January 2002 and can currently be contacted at:

fon: +49 30 / 6120 1336

mobile: +49 0172 / 3235121

[www.schubertconsulting.de](http://www.schubertconsulting.de)

[rs@schubertconsulting.de](mailto:rs@schubertconsulting.de)

Further material relating to non-contact sensing and microwave measurement can be found in the publication list (papers: 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 18):

[http://www.stereoscopicsscanning.de/Portrait/portrait\\_links.html](http://www.stereoscopicsscanning.de/Portrait/portrait_links.html)

Some of the papers are available online others are available upon request.