

# NF-Spectrum-Analyser mit DSP

**Digitale Signalprozessoren (DSP) bieten interessante und vielfältige Möglichkeiten. Die grundsätzliche Funktionsweise sowie die Applikation eines NF-Spectrum-Analyzers beschreibt der vorliegende Artikel.**

## Allgemeines

In immer mehr Anwendungsgebieten, die vor wenigen Jahren noch ausschließlich der analogen Schaltungstechnik vorbehalten waren, hält die Digitaltechnik Einzug.

Während in vielen Geräten des täglichen Gebrauchs wie z. B. im Konsumerbereich, Standard-Mikrocontroller ausschließlich die Bedien-, Anzeige- und Speicherfunktionen übernehmen, erfolgt die eigentliche Signalverarbeitung in traditioneller Technik.

Analoge Schaltungen zur Verarbeitung von Signalen sind natürlich auch mit einer ganzen Reihe von Problemen behaftet. Hier können hohe Genauigkeiten oft nur mit einem sehr hohen Schaltungsaufwand erkaufte werden. Problematisch ist meistens auch das Platinenlayout, besonders bei hochfrequenten Signalen und kleinen Signalpegeln sowie Toleranzen der verwendeten Bauelemente, die häufig nur mit einem aufwendigen und komplizierten Abgleich kompensiert werden können. Hinzu

kommen Alterungs-, Temperatur- und Driftprobleme.

Abgesehen von einigen Aufgaben in der Meßtechnik sind herkömmliche Mikrocontroller nicht in der Lage Signalverarbeitungsaufgaben zu übernehmen, da die Verarbeitungsgeschwindigkeit für die meisten Anwendungen bei weitem nicht ausreicht. Auch wenn die Theorie der digitalen Signalverarbeitung nicht neu ist, so fehlte es in der Vergangenheit in erster Linie an kostengünstig einsetzbaren Hardwarelösungen.

Durch die Entwicklung und wirtschaftliche Herstellung von hochintegrierten Bausteinen, den sogenannten VLSI (Very Large Scale Integration) -Schaltkreisen wurde der digitale Signalprozessor (DSP) erst möglich.

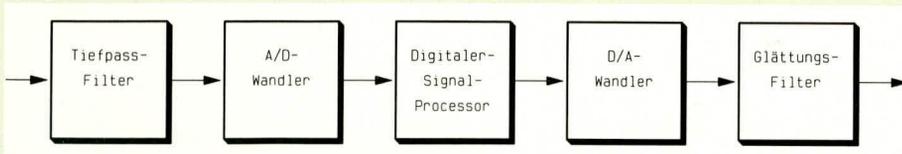
Heute werden bereits in vielen signalverarbeitenden Systemen DSPs eingesetzt, wobei ständig steigende Verarbeitungsgeschwindigkeiten, enorm hohe Integrationsdichten (bis zu 4 Millionen Transistorfunktionen auf einem Chip) und ständig fallende Preise die treibenden Kräfte für einen breiten Anwenderkreis sind.

Für die nächsten Jahre bis zur Jahrtausendwende werden am Weltmarkt enorme Wachstumsraten von bis 30 % pro Jahr für diese interessante Hochtechnologie erwartet.

Das Einsatzgebiet von DSPs ist nahezu unbegrenzt und umfaßt vor allem die Bereiche Meßtechnik, Audiosignal- und Sprachverarbeitung, Regelungstechnik, Telekommunikation, Computer- und Videotechnik.

Darüber hinaus können mit DSPs Anwendungen realisiert werden, die in herkömmlicher Technik undenkbar wären. Vom sprechenden Kinderspielzeug über Steuerungen im Kfz-Bereich bis hin zur Video-Signalverarbeitung in Multi-Media-Anwendungen, alles ist mit entsprechenden DSPs in verschiedenen Preis- und Leistungsklassen heute möglich.

Einer der Marktführer im Bereich digitaler Signalprozessoren ist Texas Instruments mit der TMS320-Familie. Die Palette der TMS320 DSPs umfaßt über 20 unterschiedliche Prozessortypen, angefangen beim TMS320C10 über den in unserer Spectrum-Analyser-Applikation eingesetz-



**Bild 1: Das Blockschaftbild zeigt die typische Beschaltung eines digitalen Signal-Prozessors**

**Bild 2: Schaltbild des DSP-Starterkits**

ten, mit 40 MHz getakteten, TMS320C26 mit einer Verarbeitungsgeschwindigkeit von 20 Millionen Befehlen in der Sekunde (20 MIPS) bis hin zum superschnellen, mehrere hundert Dollar teuren TMS320C80 für Multi-Media-Videoanwendungen mit sage und schreibe 2 Giga-Operationen in der Sekunde (2 GOPS). Dieser Baustein basiert auf einer 0,5 µm-CMOS-Technologie und beinhaltet 4 Millionen Transistorfunktionen auf einem Chip. Untergebracht in einem 305poligen Pin-Grit-Keramik-Gehäuse beträgt die Leistungsaufnahme des Bausteins bei 50 MHz-Taktfrequenz nur ca. 7,5 W.

### Digitale Signalverarbeitung

Doch wenn wir nun zum eigentlichen Begriff „digitale Signalverarbeitung“ zurückkehren, so bedeutet dies im Grunde genommen nichts anderes als die Manipulation der Amplitude eines Ausgangssignals, das Herausfiltern unerwünschter Komponenten aus einem Eingangssignal oder das Herausholen von bestimmten Informationen aus einem Eingangs-Signalgemisch mit digitalen Verfahren, d. h. in erster Linie durch Addition und Multiplikation.

Eine wichtige Anforderung an ein digitales Signalverarbeitungssystem ist die Verarbeitung der zum Teil rechenintensiven Algorithmen in Echtzeit. In einem Echtzeitsystem müssen die Eingangssignale mit derselben Geschwindigkeit verarbeitet werden wie sie entstehen.

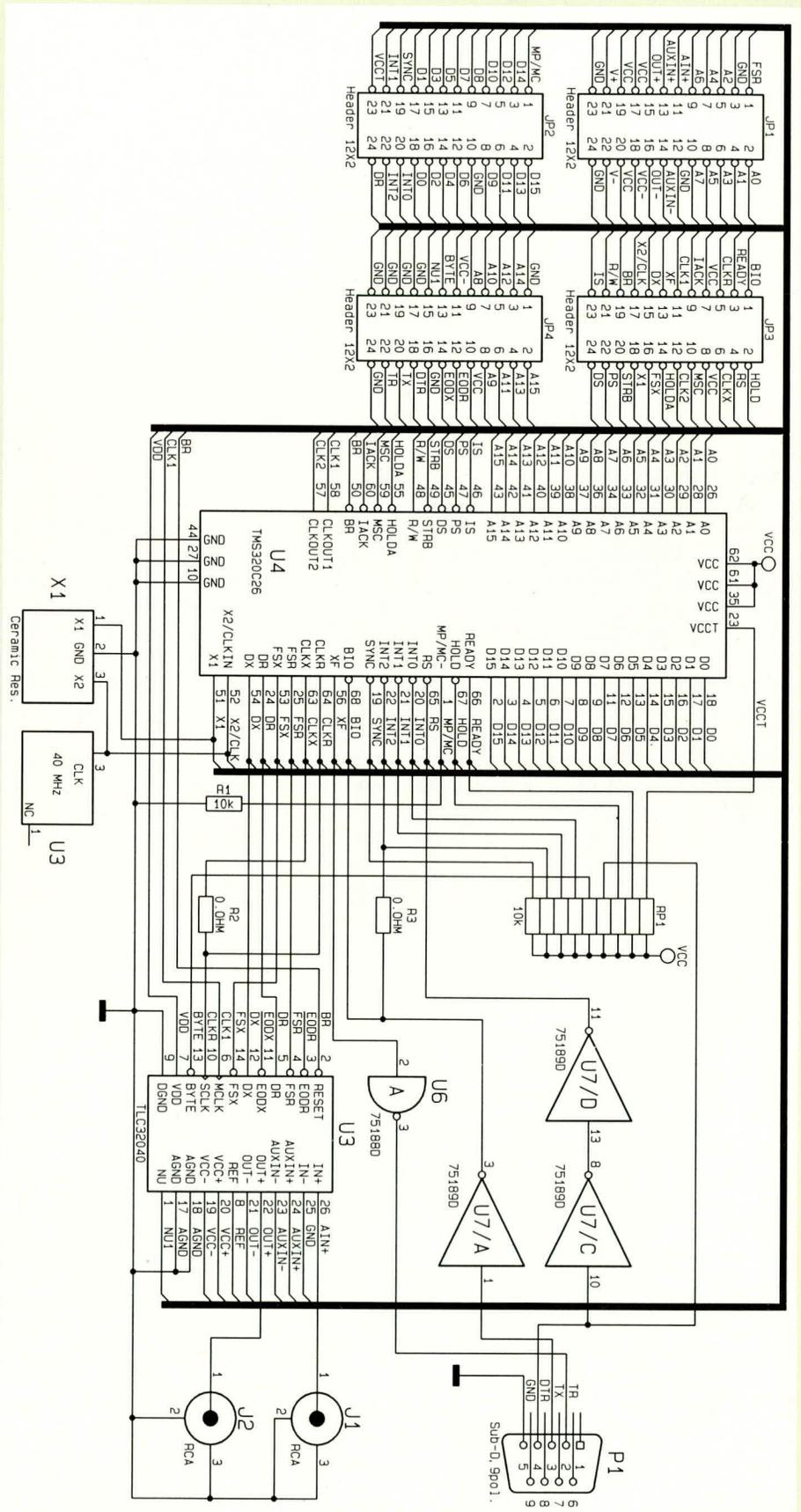
Die Echtzeitverarbeitung stellt bei Audio- und besonders bei Video-Applikationen enorme Anforderungen an die Rechengeschwindigkeit des DSPs.

### Blockschaftbild eines DSP-Systems

Die minimale typische externe Beschaltung eines DSP-Systems ist im Blockschaftbild (Abbildung 1) zu sehen.

Um nun ein analoges Eingangssignal mit einem DSP verarbeiten zu können, muß zuerst eine Analog-Digital-Wandlung vorgenommen werden. Dazu erfolgt mit Hilfe eines entsprechenden AD-Wandlers die Abtastung eines kontinuierlichen Eingangssignals in regelmäßigen Zeitabständen. Die aus der Abtastung des Signals gewonnenen Zahlenwerte können dann im digitalen System in unserem Fall direkt im DSP verarbeitet werden.

Um jedoch ein kontinuierliches analoges Signal problemlos in ein Digitalsignal



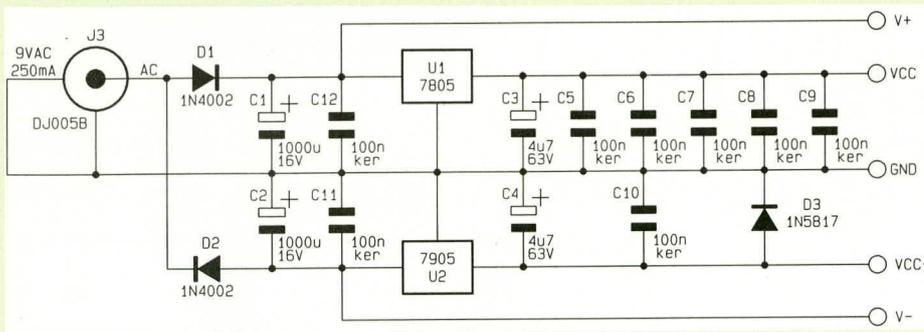


Bild 3 zeigt die Netzteilerschaltung der DSP-Demoplattine

umwandeln zu können, sind einige wichtige Faktoren unbedingt zu beachten.

Zunächst ist der maximale Signalhub des Eingangssignals auf den maximal spezifizierten Eingangsspannungswert des AD-Wandlers zu begrenzen, da es sonst zum Überlauf des Wandlers kommt. Dann muß unbedingt das Abtasttheorem eingehalten werden, das besagt, daß die Abtastrate mindestens doppelt so hoch sein muß wie die höchste Frequenz des Eingangssignals.

Wird das Abtasttheorem nicht eingehalten, so kommt es zum sogenannten Aliasing-Effekt, d. h. neue, durch die Abtastung hinzukommende Spektralanteile überlagern das Originalsignal und können später nicht wieder getrennt werden.

Durch das Vorschalten eines Anti-Aliasing-Filters (Tiefpaß entsprechender Ordnung) wird normalerweise das Eingangssignal bandbegrenzt.

Des weiteren ist das sogenannte Quantisierungsrauschen zu berücksichtigen, denn ein n-Bit-AD-Wandler kann natürlich nur  $2^n$  verschiedene Digital-Werte am Ausgang liefern. Der Sprung zwischen 2 Werten erzeugt dann das sogenannte Quantisierungsrauschen.

Am Ausgang des DSPs steht nach der Verarbeitung das manipulierte Ausgangssignal in Form eines digitalen Zahlenwertes zur Verfügung. Mit Hilfe eines DA-

Wandlers wird das Digitalsignal des DSPs wieder in ein Analogsignal umgesetzt, wobei ein nachgeschaltetes Glättungsfilter (Tiefpaß) am Ausgang hochfrequente Signalanteile und somit Abstufungen in der Wellenform des Ausgangssignals eliminiert.

Wie bereits gesagt, ist aber das alles entscheidende Kriterium bei den digitalen Signalprozessoren die Echtzeitverarbeitung, d. h. die komplette Signalverarbeitung erfolgt innerhalb der Zeit zwischen 2 Abtastwerten.

Das Besondere bei den DSPs gegenüber herkömmlichen Mikrocontrollern ist, daß sie nahezu ihren gesamten Befehlssatz in einem Taktzyklus ausführen können, wobei besonders wichtig eine möglichst schnelle Multiplikation ist. Eine erhebliche Geschwindigkeitssteigerung wird daher durch einen auf den Baustein integrierten Parallel-Hardware-Multiplizierer erreicht, während bei den meisten Standard-Mikroprozessoren die Multiplikation aus einer Abfolge von Additionen besteht und somit entsprechend viele Befehlszyklen notwendig sind. DSPs können sogar eine komplette Multiplikation und Akkumulation in einem einzigen Befehlszyklus ausführen.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil bei den DSPs liegt in der Parallelverarbeitung, wobei durch eine getrennte Programm- und Datenbusstruktur der Zugriff auf die

Befehle und Daten gleichzeitig erfolgen kann. Bei herkömmlichen Mikroprozessoren hingegen erfolgt der Zugriff sequentiell, was sich natürlich entsprechend negativ auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit auswirkt.

Eine bei den DSPs angewandte spezielle Pipeline-Technik erlaubt die Ausführung simultaner Operationen und stellt sicher, daß bei jedem Taktzyklus ein Befehl beendet wird.

Des weiteren arbeiten digitale Signalprozessoren gegenüber Standard-Mikrocontrollern mit einem reduzierten Befehlssatz, d. h. es handelt sich um eine RISC (Reduced Instruction Set Computing) - Architektur.

Die Anwendungsgebiete der DSPs reichen vom digitalen Verstärker, dessen Signale völlig verlustfrei über weite Entfernungen übertragen werden können, über Audio-Nachbearbeitungsgeräte wie Echo, Hall und Dolby Surround, Sprachver- und entschlüsselung, Sprachsynthese, Maschinen- und Robotersteuerung bis hin zu abhörsicheren Telefonen oder der Bildverarbeitung.

Durch die Programmierbarkeit können im Gegensatz zu analogen Schaltungskonzepten mit ein und derselben Hardware völlig verschiedene Anwendungen realisiert bzw. Aufgaben gelöst werden.

### DSP-Entwicklungspaket

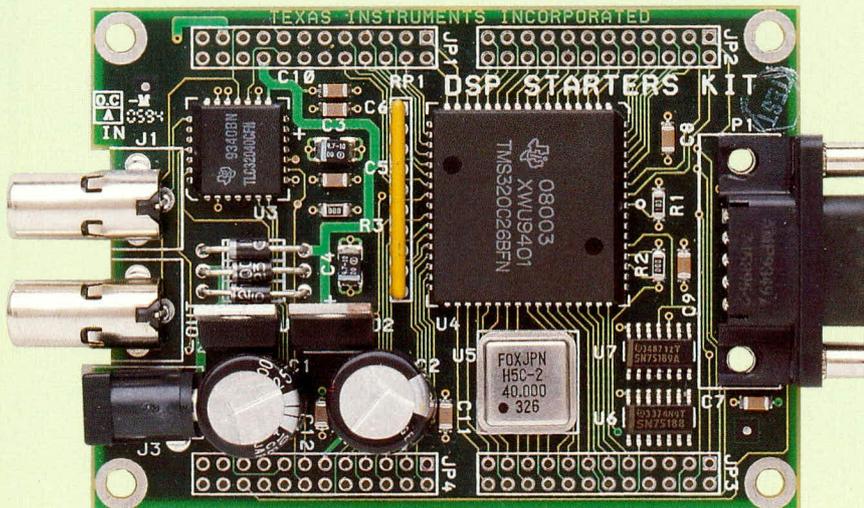
Um einen DSP programmieren zu können, ist ein entsprechendes Entwicklungspaket erforderlich. Entwicklungsumgebungen bzw. Entwicklerpakete für DSPs waren bisher recht teuer und für den Einsteiger bzw. den Privatmann kaum erschwinglich.

Texas Instruments bietet nun für seine TMS320-Familie einen komplett ausgestatteten, recht preiswerten DSP-Starterkit an, der kaum noch Wünsche offenläßt.

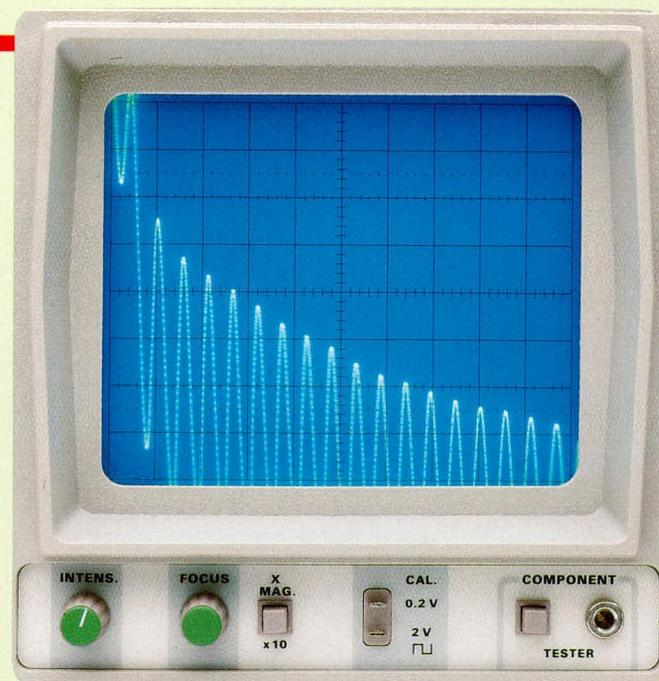
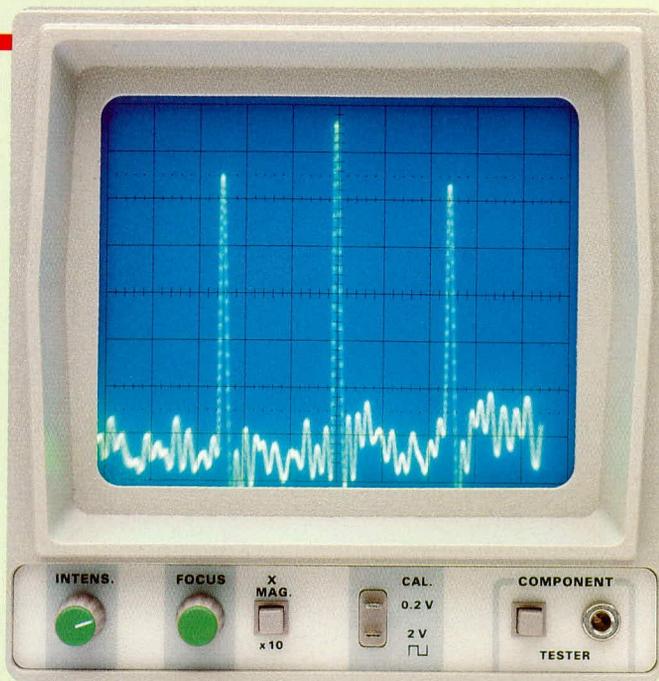
Das Starterkit (DSK) besteht aus einer kleinen Platine, die mit dem Baustein TMS320C26 und allen weiteren zum Betrieb notwendigen Baugruppen ausgestattet ist. Angeschlossen wird die Leiterplatte über eine 9polige Sub-D-Buchse an die serielle Schnittstelle eines IBM-kompatiblen PCs. Zur Spannungsversorgung dient eine separate 9V-Wechselspannung mit mindestens 250 mA-Strombelastbarkeit.

Neben dem bereits erwähnten DSP des Typs TMS320C26 ist die Leiterplatte mit einer seriellen RS232-Schnittstelle und den zugehörigen Treiberbausteinen, einem 40 MHz-Quarz-Oszillator, der Spannungsstabilisierung sowie einem Interface-Baustein des Typs TLC32040 ausgestattet.

Der Interface-Baustein beinhaltet in erster Linie je einen AD- und DA-Wandler mit 14 Bit-Amplitudenauflösung. Durch einen auf dem Chip vorhandenen Bandpaßfilter am Eingang des AD-Wandlers



Hardware des DSP-Entwicklungspaketes mit dem TMS320C26-Prozessor



Frequenzspektrum eines 10 kHz-Sinus-Signals

Frequenzspektrum eines Rechteck-Signals

werden Aliasing-Probleme vermieden, und am Ausgang des DA-Umsetzers sorgt ein Tiefpaß für die Glättung der Ausgangskurveform.

Die Programmierung der Grenzfrequenz der geschalteten Kapazitätsfilter erfolgt automatisch über die Abtastrate.

### Schaltbild des DSP-Systems

Das Schaltbild des DSP-Starterkit ist in Abbildung 2 zu sehen, während Abbildung 3 die zugehörige Netzteilerschaltung zeigt.

Die zum Entwicklungspaket gehörende Software besteht aus einem Assembler und einem Debugger. Als Beispielprogramm wird die Software eines kompletten NF-Spectrum-Analysers für den Frequenzbereich von 0 bis 20 kHz mitgeliefert.

Da auch der Quelltext und die Beschreibung des Programms auf den beiden zum Lieferumfang gehörenden Disketten vorhanden ist, kann mit dem Programm experimentiert werden, und es sind beliebige Veränderungen möglich.

Wenn man bedenkt, was normalerweise ein NF-Spectrum-Analyser kostet, so ist schon allein diese Anwendung des Demo-boards sehr interessant. In dieser grundlegenden Entwicklungsumgebung können somit nicht nur die verschiedensten Applikationen im Bereich der Audio- und Sprachverarbeitung sowie in der Meßtechnik verwirklicht werden, sondern es steht gleich

ein einsatzfähiges interessantes Meßgerät zur Verfügung.

Ein umfangreiches Datenbuch, das sämtliche Hard- und Softwareeigenschaften der TMS23C2x-Signalprozessoren beschreibt, sowie ein Handbuch, welches die zum Starterkit gehörende Assembler und Debugger-Software beschreibt, runden den Lieferumfang ab.

### NF-Spectrum-Analyser

Das Anwenderprogramm zur Realisierung eines NF-Spectrum-Analysers, in Verbindung mit der in diesem Artikel vorgestellten Hardware, ist in ausführlicher Form in dem zugehörigen Handbuch abgedruckt, so daß wir uns an dieser Stelle nur kurz mit den wenigen Schritten der Inbetriebnahme befassen wollen.

Zuerst wird ein 9 V-Wechselspannungsnetzteil angeschlossen und die serielle Schnittstelle des Demo-Boards mit der RS232-Schnittstelle des PCs verbunden. Danach erfolgt die Verbindung des analogen Cinch-Ausgangs des Starterkits mit dem Y-Eingang eines Oszilloskops und die Zuführung der NF-Signalspannung von maximal  $\pm 3$  V an der Cinch-Eingangsbuchse J 1.

Durch Eingabe von <DSKD> wird die Debugger-Software gestartet, und auf dem Bildschirm erscheint die grafische Oberfläche des Programms. Nach Eingabe von <LD> erscheint ein Fenster, in dem das zu ladende Programmfile abgefragt wird.

Für die Software des Spectrum-Analysers wird nun <DSK\_SPEC> eingegeben, worauf dann automatisch über die serielle Schnittstelle das Programm in den Speicher des DSP geladen wird.

Nach dem Laden wird mit der Enter-Taste zum Hauptmenü zurückgekehrt und durch Eingabe von <XR> der Spectrum-Analyser gestartet.

### Debugger-Software des DSP-Starterkits

