

# TEK 4/8 – Grundstein zum Supercomputer

32-Bit-Transputer-System mit T414/T800 zum Selbstbau

**Manfred Helzle**

Seit mehr als zwei Jahren schwärmen wir den c't-Lesern von den schier unendlichen Möglichkeiten vernetzter Transputer-Systeme vor, von Superleistung durch eine Schar gekoppelter Spezialprozessoren, die alle gleichzeitig an der Lösung eines Problems knabern. Doch so schön die Träume der Theorie, so bitter hoch waren bislang die Preise für Hard- und Software. Das ist mit der c't-TEK 4/8 nun vorbei.

Mit unserer 'Transputer-Entwicklungs-Karte' können wir Ihnen einen echten Meilenstein in der Geschichte der Computerei präsentieren: eine Platine, die wahlweise mit dem 32-Bit-Transputer T414 oder dem T800 (daher '4/8') – intern mit Befehlen für Floating-Point-Arithmetik – bestückt werden kann. Bis zu 2 MByte RAM lassen sich unterbringen, und auch die derzeit schnellsten Versionen von T414 oder T800 mit 20 MHz können eingesetzt werden. Und was heißt das 'c't' vor dem TEK 4/8? Na 'concurrent transputing', ist doch klar...

'Transputer-Profis' wird es außerdem freuen, daß die TEK 4/8 so kompatibel zum Inmos-Entwicklungs-Board B004 ist, daß die Entwicklungs-Software TDS2 darauf ohne Änderungen läuft.

Inmos, die 'Mutter' des Transputers, wurde 1978 mit dem Ziel gegründet, VLSI-Schaltkreise (Very Large Scale Integration) zu entwickeln und zu fertigen. Bedeutende Leute aus der einschlägigen Branche taten sich in England zusammen und entwickelten Technologien für schnelle Speicher. 1980 kamen die ersten Teile aus dem 'Ofen' – Inmos wurde ein bedeutender Speicherlieferant.

## Eine Prise Geschichte

Iann Barron hatte schon 1975 die Idee von einem völlig neuen Rechnerkonzept für Parallelverarbeitung auf nur einem Siliziumkristall mit einer eigens für solche Chips geschaffenen Sprache, die er später bei Inmos als Grundlage für Transputer und Occam einbrachte.

Eine Inmos-interne Version zum Testen der reinen CPU – also ohne Links und internes RAM – gab es 1984. Nach vielen entwicklungs- und fertigungstechnischen Problemen wurde im September 1985 der erste lauffähige Transputer angeboten. Der Durchbruch kam dann Ende 1985 mit der Auslieferung eines PC-Boards (B004) und der damals bereits zwei Jahre alten Sprache Occam 1.

Jetzt konnte der Transputer im großen Stil getestet und eingesetzt werden. Allerdings hatten die ersten T414 (A-Version) noch kleine Schönheitsfehler, zum Beispiel funktionierten die Timer nicht einwandfrei, weshalb sie zunächst nur auf Entwicklungs-Boards mit Software-Umgehung dieser Fehler erhaltlich waren.

Das änderte sich Anfang 1986

mit der Auslieferung der B-Version des T414. Kurz danach wurde endlich Occam 2 freigegeben, das eigentliche Occam. Damit konnten nun auch die kompliziertesten Projekte realisiert werden.

Zur gleichen Zeit wurde der 16-Bit-Transputer T212 vorgestellt. Er arbeitet ohne gemultiplexten Bus und ist damit ideal für Steuerungszwecke geeignet, wo wenig RAM, ein EPROM, ein PAL für die Dekodierung und das Timing und einige Peripherie-Bausteine eine übersichtliche und leicht zu programmierende Einheit bilden.

## Gegenwart

Kein Wunder also, daß sich die praktische Manifestation in Form eines Selbstbauprojektes nicht übers Knie brechen ließ. Hinzu kam, daß eine gehörige Portion Know-how erarbeitet werden mußte, damit sich ein solches Projekt überhaupt mit Hobbymitteln aufbauen und in Betrieb nehmen läßt. Das kann so schwierig doch nicht sein? Ist es auch nicht – wenn man weiß, wie's geht...

Aber das Haupthindernis des Transputer-Einsatzes waren lange Zeit schlicht die Kosten. Zwar ist der T414 mit rund 600 DM heute immer noch nicht in Gefilde gelangt, die man von seinem fernen Namensvetter 'Transistor' gewohnt ist, aber selbst der Z80-Prozessor kostete bei seinem Erscheinen auf dem Markt etliche Hunderter – und so kann man noch auf einige Preissenkungen hoffen, wenn erst mal echte Massenzahlen kursieren. Vor allem die Markteinführung des T800, der bislang nur als Muster verfügbar ist, sollte sich angenehm auf die Preise des T414 auswirken.

Ein weiteres Kostenproblem war die Software. Ohne Occam 2 ist selbst auf nur einem Transputer kein sinnvolles Arbeiten möglich – Bit- und Byte-Freaks mögen es anders sehen. Ein Blick in die Assemblersprache des T414 an anderer Stelle in diesem Heft kann diese vielleicht überzeugen. Und erschwerend käme bei ausschließlicher Assemblerprogrammierung hinzu, in Eigenregie parallele Prozesse zu handhaben. Seit man aber nicht mehr das volle Occam-2-Entwicklungssystem für über 3000 DM kaufen muß, hat die Sache ein hobbyisten-

freundliches Gesicht bekommen.

## Alles on Board

Wie unschwer auf dem Foto erkennbar ist, handelt es sich bei der c't-TEK 4/8 um eine Platine, die direkt in einen PC/XT beziehungsweise AT (und alle kompatiblen, versteht sich) eingesteckt werden kann. Aber das heißt keineswegs, daß nur Besitzer solcher Rechner in den Genuß der Transputerei kommen – allerdings haben es die PC-Besitzer am Anfang ein bißchen leichter. Doch dazu später mehr.

Das Blockschaltbild zeigt die vier wesentlichen Teile der Gesamtschaltung: das Interface zum Host-Rechner (ohne Änderungen für PC/XT/AT), das Link-Interface, den Speicher und natürlich den Transputer selbst, dessen ausführliche Beschreibung Sie an anderer Stelle in dieser c't finden.

## Schnittstelle zum Host

Die vier Links des Transputers sind die einzig sinnvollen Kommunikationskanäle ('Kommunikation' und 'Kanal' sind zwei

der wichtigsten Merkmale sowohl von Transputer als auch von Occam) für den Datenaustausch zwischen verschiedenen Transputern und, wie in unserem Fall, zwischen dem Host-Rechner und dem Transputer. Sinnvoll deswegen, weil alles andere (memory mapped I/O zum Beispiel) dem Konzept völlig lokaler Ressourcen jedes Transputers und letztlich den kanalorientierten Kommunikationsmechanismen von Occam zuwiderliefe.

Ein Link beim Transputer ist zunächst einmal eine (bidirektionale) serielle Schnittstelle, deren Datenrate mindestens 5 MBit/s und maximal 20 MBit/s beträgt. Da 'normale' Rechner üblicherweise (noch?) nicht mit derartigen Schnittstellen ausgestattet sind, gibt es von Inmos sogenannte Link-Adapter-Chips. Diese lassen sich mit UART-Chips vergleichen, die eine Seriell-Parallel-Wandlung für die RS-232-Schnittstelle vornehmen.

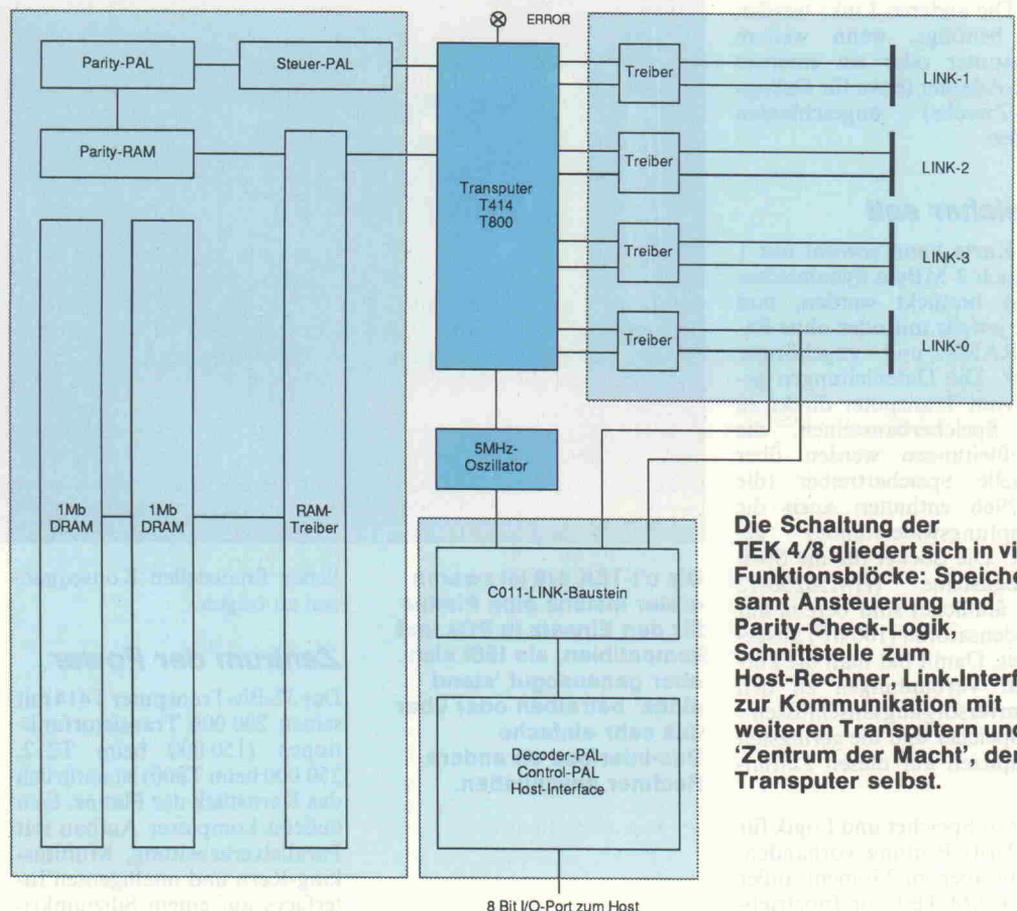
Der Baustein C011 zum Beispiel (seine genaue Beschreibung folgt in einem späteren Artikel) setzt den seriellen Link-Daten-

strom in eine bidirektionale, parallele Schnittstelle mit zwei Statusregistern um. Der bidirektionale Ausgang ist über einen Bustreiber (74LS245) mit dem Datenbus des Rechners verbunden.

Ein Decoder-PAL bestimmt aus den PC-Steuersignalen, ob und in welcher Richtung ein Zugriff auf den C011 erfolgt. Aus dem Inhalt der Statusregister ist leicht zu erkennen, ob zum Beispiel das Senderegister leer oder im Empfangsregister eine neue Information enthalten ist.

Das Control-PAL enthält einige Register, um Signale wie RESET, ANALYSE und so weiter zu erzeugen. Sie sind wichtig für die Kommunikation zwischen Rechner und Transputer.

Das Link des C011 geht über Brücken und Bustreiber (74F244) entweder direkt zum Transputer oder zu einem der vier Link-Stecker an der Stirnseite der Karte. Die zweite Möglichkeit ist sinnvoll, wenn externe Transputer (oder ganze Netzwerke) mit der Software des Host-PC versorgt werden sollen, ohne daß man alles durch den Transputer der TEK 4/8 schicken will.



**Die Schaltung der TEK 4/8 gliedert sich in vier Funktionsblöcke: Speicher samt Ansteuerung und Parity-Check-Logik, Schnittstelle zum Host-Rechner, Link-Interface zur Kommunikation mit weiteren Transputern und 'Zentrum der Macht', der Transputer selbst.**

## Tore zu den Kollegen

Das Link-Interface führt die vier Links des Transputers über Bustreiber (74F244) an vier 10polige Flachbandkabel-Stecker. Zusätzlich liegen an diesen Steckern noch +5 V, 0 V und einige Steuersignale für den externen Anschluß von anderen Transputer-Systemen.

Die Übertragung der Links ist sehr skew-empfindlich, das heißt, der Abstand zwischen ansteigender und abfallender Flanke vom Ausgang eines Links zum Eingang eines anderen muß während einer Übertragung möglichst konstant sein. Deshalb sollten Verzögerungen der Schaltflanken, wie sie durch lange Kabel oder kapazitive Lasten entstehen können, minimal gehalten werden. Aus diesem (guten) Grund werden auf der TEK 4/8 bei den Link-Treibern FAST-Bausteine eingesetzt. Die Übertragung der Links über Lichtwellenleiter ist momentan noch zu kostspielig, in Zukunft wird diese Möglichkeit Multitransputersysteme aber wesentlich vereinfachen.

Link 0 wird normalerweise über Brücken mit dem Host-Interface verbunden und dient zur Kommunikation mit dem Rechner. Die anderen Links werden nur benötigt, wenn weitere Transputer oder ein externer Link-Adapter (etwa für Debugging-Zwecke) angeschlossen werden.

## Speicher satt

Die Karte kann sowohl mit 1 als auch 2 MByte dynamisches RAM bestückt werden, und zwar jeweils mit oder ohne Parity-RAMs und zugehöriger Logik. Die Datenleitungen gehen vom Transputer direkt zu den Speicherbausteinen, die Adreßleitungen werden über spezielle Speichertreiber (die AM2966 enthalten auch die Dämpfungswiderstände) geführt. Die Sockel für die Speicherbausteine (HM50256-12 oder ähnliche) sind bereits mit Kondensatoren (100 nF) ausgestattet. Damit hat man die kürzesten Verbindungen zu den Stromversorgungsanschlüssen der Speicher und die geringsten Störspitzen auf diesen Leitungen.

Zwar ist Speicher und Logik für die Parity-Prüfung vorhanden, es gibt aber im Moment außer dem RAM-Test zur Inbetrieb-

nahme des Boards keine Software, die Parity-Fehler behandelt. Wer hier nicht in eigener Regie die entsprechenden Maßnahmen etwa für professionelle Anwendungen ergreift, kann diesen Teil der Platine guten Gewissens unbestückt lassen. Ebenso können dann die Parity-Generator/Checker-Bausteine (74F280) und das Parity-PAL entfallen. Da man zu Beginn auch mit 1 MByte RAM schon komfortabel arbeiten kann, lassen sich durch Verzicht auf Parity-RAM nebst Logik und das zweite MByte die Einstiegskosten in die Transputerei recht niedrig halten.

Der Transputer verfügt über ein äußerst intelligentes Speicher-Interface, das auch den Einsatz von dynamischen RAMs sehr einfach gestaltet und wenig zusätzliche Hardware erfordert. Das gesamte Timing (auch den Refresh) für die dynamischen Speicherbausteine erzeugt der Transputer selbständig, natürlich frei programmierbar, wie es sich für einen intelligenten Chip geziemt. Die Informationen über die Speicherkonfiguration werden beim Kaltstart aus dem Steuer-PAL eingelesen.

Man wird ganz schön verwöhnt, wenn man längere Zeit mit Transputer und Occam arbeitet, und wundert sich, warum andere Systeme so kompliziert sind. Selbst beim Speicher-Interface kommt die Devise des 'alten' William Occam zum Ausdruck: 'Alles so einfach wie möglich.' Allerdings sei zugegeben, daß man diese Einfachheit in allen Facetten des Gesamtkonzeptes erst erkennt, wenn man ein paar Einstiegshürden genommen hat – Transputer und Occam erfordern schon in einigen Belangen 'ein wenig Umdenken'.

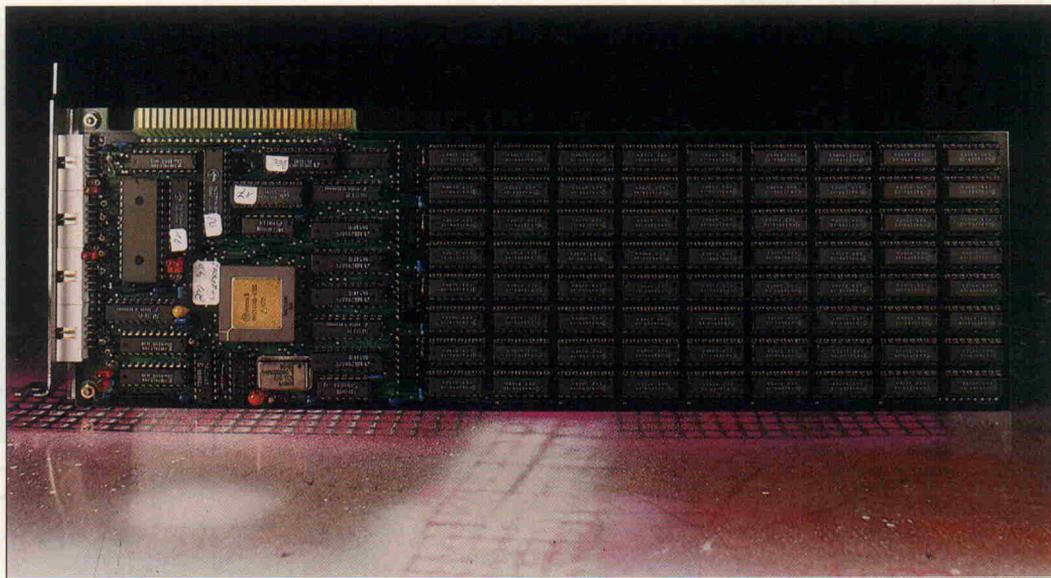
Die Platine ist so ausgelegt, daß der Speicher auch mit der 20-MHz-Version des T414 und mit dem T800, wenn er auf 20 MHz eingestellt wird, zusammenarbeitet. Allerdings müssen dann die CMOS-Typen der Speicher-Bausteine (HM51C258-12 oder ähnlich) eingesetzt werden, denn dadurch ist die Belastung auf den Leiterbahnen geringer. So ist der Weg zum Einsatz der zur Zeit schnellsten und leistungsfähigsten Transputer also weit offen – sofern man bereit ist, die dann fälligen, nicht unbeträcht-

stall sorgt dafür, daß das 'Drumherum' so einfach wird.

Zum Betrieb des Transputers genügt ein Quarzoszillator mit einer Taktfrequenz von 5 MHz. Dabei ist es völlig egal, mit welcher Taktfrequenz der Transputer intern wirklich schaltet und waltet. Er hat nämlich im Innern eine PLL-Schaltung für seine Arbeitstakterzeugung. In einem Verbundsystem können also durchaus 15- und 20-MHz-Transputer vom selben Oszillator versorgt werden, und dennoch arbeiten alle mit ihrer 'aufgedruckten' Nominalfrequenz.

Zwei Abblock-Kondensatoren für die PLL, einige Pull-up/down-Widerstände, ein paar Verbindungen nach +5 V oder Masse – und der Transputer ist schon einsatzfähig. Der Stromverbrauch ist mit maximal 180 mA (Triumph der CMOS-Technik) sehr gering im Vergleich zu anderen Prozessoren, die zum Teil richtige Heizöfen darstellen wie zum Beispiel der – na, Sie wissen schon.

Nach jedem Reset holt sich der Transputer eine von 13 Spei-



**Die c't-TEK 4/8 ist zwar in erster Instanz eine Platine für den Einsatz in PCs und kompatiblen, sie läßt sich aber genauso gut 'stand alone' betreiben oder über das sehr einfache Bus-Interface an andere Rechner anschließen.**

lichen finanziellen Konsequenzen zu tragen.

## Zentrum der Power

Der 32-Bit-Transputer T414 mit seinen 200 000 Transistorfunktionen (150 000 beim T212, 250 000 beim T800) ist natürlich das Kernstück der Platine. Sein äußerst komplexer Aufbau mit Parallelverarbeitung, Multitasking-Kern und intelligenten Interfaces auf einem Siliziumkri-

cherkonfigurationen entweder direkt durch die Verbindung des MemConfig-Pins mit einer bestimmten Adresse, oder man kann jede beliebige Speicherkonfiguration mit einem PAL (wie in unserem Fall mit dem Steuer-PAL) oder EPROM bitseriell (36 Bit) einlesen.

## Software dabei

Wie schon erwähnt war unser größtes Sorgenkind eine dem

Transputer-Board angemessene Software-Umgebung. Zwar läuft auf der TEK 4/8 das TDS2-Entwicklungssystem von Inmos, da unser Board ja kompatibel zum B0004-Entwicklungs-Board ist, sein stolzer Preis jedoch hätte wohl manchem potentiellen ProCCAM-ierer den Appetit verdorben.

Glücklicherweise ist von Inmos nun auch die preisgünstige Software-Version OCS (Occam-Compiler-Server) erhältlich, die es uns ermöglicht, Leerplatine, PALs und Software für deutlich unter 500 DM anzubieten. Der mitgelieferte Occam-2-Compiler ist dabei der gleiche wie in der üppigeren Entwicklungsumgebung des TDS. Hinzu kommt noch ein wenig Software für die Inbetriebnahme der TEK 4/8, und ein paar Beispielpogramme in Occam werden nicht fehlen.

In der Startversion ist alles noch auf PCs und Kompatible eingerichtet, so auch der Server, der für CPU/Betriebssystem des Host-Rechners geschrieben wurde. Der Compiler selbst aber läuft auf dem Transputer-Board, so daß alle Anpassungen für andere Rechner immer nur die Server-Software betreffen.

Zunächst sieht eine Entwicklungssession also folgendermaßen aus: Mit einem DOS-Editor (EDLIN, WORD, PE, TurboPascal) wird das Occam-Programm geschrieben. Hier liegt auch schon der wesentliche Unterschied zum TDS, bei dem eine komplette Bedienungsfläche (ähnlich wie in TurboPascal) mit Folding-Editor und vielen Hilfsprogrammen integriert ist. Der Server schickt zum Kompilieren die ASCII-Quelle des Programms samt Compiler zur TEK 4/8 und speichert den Objektcode wieder auf Diskette oder Platte des Host-Rechners ab. Anschließend schickt er den Objektcode zur Ausführung ans Transputer-Board.

## Unendliche Geschichten

Daß die Erweiterbarkeit von Transputer-Systemen bis ins Unendliche getrieben werden kann, sollte spätestens nach der Lektüre dieses Heftes keiner Erwähnung mehr bedürfen. Aber zum Multitransputing braucht man nun keineswegs zig TEK 4/8, obwohl auch das selbstverständlich geht: Diese

laufen nämlich völlig selbständig (stand alone), man muß ihnen lediglich die Betriebsspannung zuführen. Damit sie etwas zu tun bekommen, braucht man ihnen nur über die Links ein bißchen Software einzuspielen.

Für viele Multitransputing-Aufgaben, erst recht, wenn man sich nur zu Übungszwecken ins Parallel-Processing stürzen will, reicht aber eine weitaus einfachere Lösung aus. Ein Taktoszillator mit Pufferung, eine Reset-Logik und natürlich ein paar weitere Transputer – mehr braucht man nur, wenn einem das interne RAM von 2 KByte in T414/212 oder die 4 KByte im T800 nicht ausreichen.

Und wenn dann nicht gleich Megabytes gebraucht werden, drängt sich der kleine 16-Bitter T212 mit seinem nicht gemultiplexten Daten-/Adreßbus förmlich auf, um ihn zum Beispiel mit 64 KByte (sein maximaler Adreßbereich) schnellem statischem RAM auszurüsten. Speicher in Megabyte-Größenordnung braucht eigentlich nur das Board mit der Schnittstelle zum Host, weil der Compiler (erst recht das TDS) ganz schön gefräßig ist.

## Die Nichtkompatiblen

Besitzer von Rechnern, in denen keine CPU mit dem Aufdruck 8086/88 oder 80286/386 vor sich hin rackert, brauchen nicht zu verzweifeln. Das Bus-Interface der Transputer-Karte zum Host ist ein ganz normaler 8-Bit-Parallel-Port, den man im Prinzip an jeden Rechner anschließen kann, an dessen Bus man herankommt.

An dieser Stelle seien daher alle Leser herzlich zur Mitarbeit eingeladen, die daran interessiert sind, auch ihren Rechner in die Gilde der 'Transputerisierten' zu erheben. Im wesentlichen geht es darum, das Bus-Interface der TEK 4/8 mit Hilfe einiger Logik-Chips adressieren zu können und den File-Server anzupassen. CPCs, Amigas, Ataris, Macs und all Ihr ändern – verpaßt den Anschluß nicht!

## Rosige Zukunft

Es gibt eigentlich nichts, was man mit Transputern nicht machen kann. Und es gibt kaum etwas, was diese Dinger (erst recht zu mehreren) nicht besser und schneller können als beispielsweise die Prozessoren der

Host-Systeme, in denen sie sitzen, weshalb letztere auch folgerichtig zu Terminals mit Massenspeicherverwaltung und Netzteil degradiert werden.

Allerdings ist auch klar, daß, wann immer man so hochgradig innovatives Neuland betritt, nicht auf Antriebe massenhaft Anwender-Software verfügbar ist – doch das war beim Atari ST oder Amiga auch nicht anders. Gerade hier aber hat der Transputer seine Riesenchance, da er im Sinne des Wortes 'rechnerverbindend' wirken kann.

Mit der TEK 4/8 ist es keine Illusion mehr, auf beliebigen Rechnern dieselbe Software zu fahren und diese unterschiedlichen Rechner über standardisierte Schnittstellen, die Links nämlich, miteinander zu koppeln – und sei es anfangs nur zum Datenaustausch.

Aber auch vollwertige Netzwerke im Sinne eines herkömmlichen Rechnerverbundes sind denkbar, die Hardware – etwa für eine Ring-Topologie – ist mit einer TEK 4/8 pro Rechner bereits komplett vorhanden. Die dabei erzielbare Datenrate von derzeit maximal 20 MBit/s liegt sogar schon im Leistungsbereich von Netzwerken für gehobene Ansprüche.

Und bezüglich Software ist zu sagen: Es muß nicht immer Occam sein! Zwar wird es Occam immer geben (müssen), denn im Grunde ist diese Sprache der 'strukturierte Makro-Assembler' für Transputer, ohne den sich zeit- und codeoptimierte Anwendungen nicht realisieren lassen, aber andere Hochsprachen laufen auf Transputern natürlich auch. C, Pascal und Fortran zum Beispiel gibt es schon in Testversionen, Modula ist in Arbeit. Seit neuestem gibt es auch eine XLISP-Implementation (XLISP ist public domain!) für Transputer. Mit anderen Worten: Die Flut der Anwender-Software wird nicht mehr lange auf sich warten lassen.

Als letzter Ausblick sei noch ein bißchen 'Science Fiction' gestattet, die aber, wie es sich für gute SF gehört, voll in der Realität verwurzelt ist. Die Leistung eines Transputer-Systems läßt sich bekanntlich in etwa linear durch Hinzufügen weiterer Transputer steigern. 'In etwa linear' deshalb, weil man nur so lange Leistung gewinnen kann, wie man das zu lösende Problem

auch wirklich sinnvoll parallelisieren kann. Zu solch sinnvollen, allerdings auch höchst aufwendigen Anwendungen kann man die Emulation anderer Rechnersysteme zählen.

Solche Emulatoren gibt es in ähnlicher Form bereits. Die Atari-ST-User kennen schon seit frühester Zeit die Software-Nachbildung des Z80 samt CP/M 2.2 mittels 68000, und auch für PC/ATs gibt es solche Emulatoren. Allen gemeinsam ist besonders ihre Langsamkeit, der man bei diesen Rechnern durch den Einsatz schnellerer CPUs nur in relativ engen Grenzen abhelfen kann.

Bei einem Transputer-System könnte man durch 'ein paar Transputer mehr' nicht nur erheblich schneller als die Originale werden, sondern einen Rechner mit allen Hardware-Baugruppen 'naturgetreu' nachempfinden: Einige spielen den Prozessor, einer den Floppy-Controller, einer die Grafikkarte, einer die Schnittstellen und so weiter.

Wäre man mit einem T414, dessen Leistung etwa in der Größenordnung einer 68020 liegt, vermutlich etwa so langsam wie ein Original-PC, könnte man durch genügend weitere Transputer sicherlich auch Rechner mit 80386 'ausbremsen'. Und wenn man für bestimmte Anwendungen andere Software bevorzugt, na dann wird halt auf Amiga, Atari, Mac oder CP/M umkonfiguriert. . .

## Es kommt was auf Sie zu!

Zurück auf den Teppich. In den nächsten Ausgaben folgt die genaue Bauanleitung mit Schaltungsbeschreibung und Inbetriebnahme sowie eine detaillierte Vorstellung der Link-Adapter-Chips C011/C012. Als weiteres (kleines) Hardware-Projekt wird es ein einfaches Link-Interface geben, das als Debugging-Hilfe oder als Centronics-Schnittstelle oder zum Anschluß eines A/D-Wandlers oder was auch immer eingesetzt werden kann. Und nicht zuletzt muß natürlich der Umgang mit Compiler und Server erklärt werden. Wir haben aber noch diverse andere Sachen zum Thema 'Transputern in c't' in Vorbereitung – lassen Sie sich überraschen. (gr)