

Die Entwicklung der Hybridrechentechnik in der DDR/ ČSSR in den 70er Jahren

Heinz Scheffel

Universitätsrechenzentrum
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Am Johannisfriedhof 2
07743 Jena
heinz.scheffel@uni-jena.de

1 Analogrechentechnik und Lösungsansatz der Hybridrechentechnik

Elektronische Analogrechner wurden bis in die 70er Jahre zur Berechnung von linearen und nichtlinearen Differentialgleichungssystemen eingesetzt. Gegen Ende der 60er Jahre waren damit gegenüber der damals verfügbaren digitalen Rechentechnik noch erhebliche Geschwindigkeitsvorteile erreichbar, die je nach Größe und Art des zu berechnenden Problems bei Faktoren von 100 bis 1000 lagen.

Analogrechner bestanden aus Komponenten, die Ausgangsspannungen in Abhängigkeit von den anliegenden Eingangsspannungen erzeugten. Die wichtigsten Komponenten waren

- Integrierer (Ausgangsspannung $U_a = \text{Integral der Eingangsspannung über die Zeit}$)
- Potentiometer ($U_a = \text{Produkt der Eingangsspannung mit einer einstellbaren Konstanten}$)
- Multiplizierer ($U_a = \text{Produkt von zwei Eingangsspannungen}$)
- Summierer ($U_a = \text{Summe der bewerteten Eingangsspannungen}$)
- Funktionsgeber ($U_a = \text{Funktion der Eingangsspannung}$)

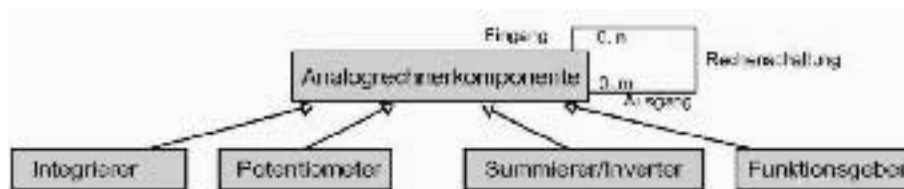


Abbildung 1: Analogrechnermodellierung

Durch Verschaltung dieser Komponenten (Abb. 1) modellierte man die zu lösenden Differentialgleichungen nach einem einfachen Verfahren auf dem Analogrechner. Der Lösungsprozeß vollzog sich so, daß im Zustand „Initial Conditions“ vorgebbare Anfangswerte an den Integrierern aufgenommen wurden, im Zustand „Compute“ der Integrationsprozeß erfolgte und im Zustand „Hold“ die Integration angehalten wurde, so daß die Spannungen an den Analogrechnerkomponenten ausgewertet werden konnten. Die Rechenzeit am Analogrechner konnte über Skalierungsbeziehungen auf die unabhängige Variable der zu lösenden Differentialgleichungen umgerechnet werden. Gleiches galt für die Umrechnung der Spannungen des Analogrechners auf die abhängigen Variablen des zu lösenden Differentialgleichungssystems.

In der DDR wurden Analogrechner auf Röhrenbasis ab der zweiten Hälfte der 50er Jahre im VEB Rechenelektronik Glashütte produziert. Basierend auf Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von Professor H. Winkler (Institut für Physik der damaligen Hochschule für Elektrotechnik Ilmenau) wurden zunächst Kurzzeitanalogrechner (Integrationszeitkonstanten im Millisekunden-Bereich) entwickelt und gefertigt. Nennenswert ist insbesondere der Typ „EAR-6“.

Danach folgte Anfang der 60er Jahre der in größeren Stückzahlen gefertigte Langzeit-Analogrechner (Integrationszeitkonstanten im Sekunden-Bereich) „endim 2000“ mit bis zu 64 Komponenten, auswechselbarer Programmier tafel (die Verschaltung der Rechenelemente konnte damit sehr schnell geändert werden, womit ein Nutzerwechsel in angemessener Zeit erfolgen konnte) und Präzisionszeitgeber. Dieser Typ fand eine große Verbreitung an Hochschulen, Akademieeinrichtungen und Forschungseinrichtungen der Industrie.

Der Übergang zur Produktion transistorisierter Analogrechner wurde in der DDR nicht mehr vollzogen. Aus diesem Grund kamen gegen Ende der 60er Jahre zunehmend Analogrechner auf Transistorbasis der Meda-Serie der tschechoslowakischen Firma ARIT-MA zum Einsatz. Diese waren gegenüber der endim-2000 Technik weniger stör anfällig, genauer und besaßen diskrete Logikbauelemente, um iterative Lösungsabläufe zu steuern. Die fehlende Programmier tafel setzte jedoch der Nutzung enge Grenzen.

Die sich in den 60er Jahren verbreitende Nutzung von Analogrechnern führte zwangsläufig zu einer Verbreitung des Wissens über diese Technik und zu einer Reihe von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Erweiterung und Verbesserung der Einsatzmöglichkeiten, um die Nachteile des Analogrechnerprinzips zu beseitigen. Diese Nachteile bestanden vor allem in Folgendem:

- a) Das Analogrechnerprinzip erlaubte nur die Lösung von gewöhnlichen Differentialgleichungssystemen in Form von Anfangswertproblemen. Die Lösung von Rand- und Eigenwertproblemen sowie von partiellen Differentialgleichungen erforderte Iterationen, also: wiederholtes Lösen einer Differentialgleichung → Auswerten der Ergebnisse → Vorbereiten einer neuen Berechnung.
Ein manuelles Auswerten und Vorbereiten einer neuen Berechnung auf Basis dieser Auswertung war sehr langwierig, so daß der Geschwindigkeitsvorteil des Analogrechners nicht mehr zum Tragen kam.

- b) Die Einstellung von Funktionen auf den Funktionsgebern war sehr zeitaufwendig und ungenau. Üblicherweise konnten nur Funktionen mit einer Variablen realisiert werden.
- c) Die von Hand vorgenommene Verschaltung der Analogrechnerkomponenten konnte Fehler enthalten. Darüber hinaus waren Kontaktfehler bei der Verwendung von Programmierplatten keine Seltenheit, auch fehlerhafte Analogrechnerkomponenten konnten nicht ausgeschlossen werden. Deshalb erforderte die Verifikation der Rechenschaltung umfangreiche zeitaufwendige Messungen vor der Rechnung.
- d) Die Lösungsfunktionen konnten nicht gespeichert werden, um sie bei iterativen Lösungsprozessen in die Folgeberechnung eingehen zu lassen.

Es gab eine Anzahl von Ansätzen zur Beseitigung dieser Nachteile durch spezielle Hardware, vor allem in Form von sogenannten iterativen Analogrechnern. Auf ihnen konnten spezielle Logikelemente für die automatische Steuerung von Iterationsabläufen genutzt werden. Die Programmierung solcher Rechner war äußerst kompliziert.

Eine durchgängige Überwindung aller unter a) bis d) genannten Analogrechnernachteile brachte erst der Hybridrechnersystemansatz – eine Kopplung von Analog- und Digitalrechner, die vor allem folgendes erlaubte:

- die Analogrechnerzustandssteuerung und -kontrolle durch den Digitalrechner,
- die Einstellung analoger Werte und der Analogrechnerkomponenten, insbesondere der Potentiometer, durch den Digitalrechner,
- die Abfrage der Werte der Analogrechnerkomponenten durch den Digitalrechner.

International wurden derartige Systeme ab der zweiten Hälfte der 60er Jahre angeboten. Nennenswert sind hier besonders die Systeme der Firma Electronic Associates Inc. (EAI). Im Bereich des RGW¹ gab es zu dieser Zeit nur einige Versuche von Analog-/ Digitalrechnerkopplungen, die jedoch bezüglich Hard- und Software nicht ausgereift waren; und für Importe fehlten die nötigen Devisen.

2 Die Entwicklung der Hybridrechner HRA in den 70er Jahren (Hardwareentwicklung)

Anfang der 70er Jahre wurde nach einer Zusammenarbeit der DDR und der ČSSR auf dem Gebiet der Rechentechnik auf politischer Ebene gesucht. Einen Ansatzpunkt fand man hinsichtlich der gemeinsamen Entwicklung von Hybridrechnersystemen unter Verwendung von DDR-Digitalrechentechnik und ČSSR-Analogrechentechnik. Im Dezember 1971 kam es zur Unterzeichnung einer entsprechenden Vereinbarung zwischen dem Zentrum für Forschung und Technik des Kombines Robotron (ZFT-R) und der Firma

¹ Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe – ökonomischer Verbund der damaligen Ostblockländer

ARITMA (später an den Betrieb ZPA-Cakovice/Prag angegliedert) zur gemeinsamen Entwicklung von Hybridrechnersystemen.

Zur Spezifikation der zu entwickelnden Systeme und zur Koordinierung des gemeinsamen Vorhabens wurde eine ständige Arbeitsgruppe gebildet, der neben Vertretern der genannten Trägerbetriebe des Vorhabens Vertreter

- des Institutes für mathematische Maschinen Prag (VUMS) und
- des Rechenzentrums der Technischen Hochschule Ilmenau (THI)

angehörten. VUMS bearbeitete wesentliche Teile der Analogrechnerentwicklung für ARITMA. Das Rechenzentrum der THI wurde vom ZFT-R um Mitarbeit gebeten, einerseits zur Einbringung von Anwendersichten in die Systementwicklung, andererseits um hybridrechnerspezifische System- und Anwendungssoftware zu entwickeln.

Bis 1973 erfolgte in einem ersten Schritt die Entwicklung der Systeme HRA-4041 und HRA-4241. HRA stand für **H**ybridrechnersysteme **R**obotron **A**ritma, und in den Zahlenkombinationen standen 40 bzw. 42 für die verwendeten Robotron Minirechner R-4000 bzw. R-4200 sowie 41 für die verwendeten Analogrechnerkomponenten ME-DA-41-TA/TB/TC, die über ein Koppelwerk SPOZA gekoppelt wurden (Abb. 2).

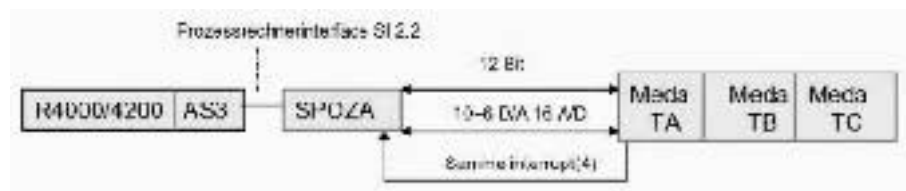


Abbildung 2: HRA 4041/4241

Die R-4000/4200 Rechnerfamilie war eine zunächst für den Prozeßrechnereinsatz konzipierte Minirechnerfamilie, die nach Vorbild der Honeywell DDP-516 entwickelt wurde. Der R-4200 war eine gegenüber dem R-4000 leistungsmäßig abgerüstete Variante (eingeschränkter Befehlsvorrat, max. 16 Kiloworte Speicher gegenüber 32 Kiloworte des R-4000), die aber in sehr großen Stückzahlen produziert wurde und in der DDR den Minirechnereinsatz in den 70er Jahren prägte.

Das Koppelwerk SPOZA wurde über das Prozeßrechner-Standardinterface SI 2.2 an die Digitalrechner (über AS-3 Controller) angekoppelt, womit nur am Koppelwerk (ursprünglich für ein anderes Interface entwickelt) Interfaceanpassungen notwendig waren, d. h., die Robotron-Technik konnte ohne Hardwareentwicklungsarbeiten in den HRA-Systemen verwendet werden. Die Verbindung der Koppelwerkausgänge mit dem Analogrechner war Aufgabe des Programmierers. Ihm waren verfügbar:

- 12 frei verwendbare logische Signale zur Analogrechnersteuerung
- 12 frei verwendbare logische Eingänge
- 10 Potentiometer, durch den Digitalrechner einstellbar
- 6 Digital-/Analog- und 16 Analog-/Digital-Wandler

- ein 4-Bits-Sammelinterrupt zur Synchronisation von Analog- und Digitalrechner in der Rechenphase

Der Analogrechnerteil bestand im einfachsten Fall aus einem MEDA-TC Rechner, der neben konventionellen Analogrechnerkomponenten eine Anzahl von Logikkomponenten besaß, die über die Logikein-/ausgänge des Koppelwerkes die Steuerung des Rechners und dessen Kontrolle durch den Digitalrechner erlaubten. Eine Erweiterung dieses Analogrechnerteils durch die konventionellen Analogrechner MEDA-TA und MEDA-TB war möglich. Die gesamte Analogrechentechnik verfügte nicht über auswechselbare Programmiertafeln.

Diese Hardware erlaubte prinzipiell die Steuerung von iterativen Problemlösungen durch den Digitalrechner sowie ein paralleles Rechnen von Digital- und Analogrechner. Eine weitgehende Automatisierung der Vorbereitung des Analogrechners auf den Rechenprozeß durch Verifizierung der Rechnerverschaltung und Prüfung der Funktionstüchtigkeit der verwendeten Analogrechnerkomponenten via Digitalrechner war mit der begrenzten Anzahl von Analogeingabekanälen des Koppelwerkes und der nötigen manuellen Verschaltung von Koppelwerk und Analogrechner nicht möglich. Damit blieben Programmierung und Vorbereitung des Analogrechners auf die Problemlösung nach wie vor sehr aufwendig. Durch fehlende Programmiertafeln kam hinzu, daß das Umprogrammieren des Analogrechners bei Nutzerwechsel erhebliche Zeiten in Anspruch nahm.

In einer zweiten Entwicklungs- und Erprobungsphase wurden die Systeme HRA-7000 und HRA-7200 (Abb. 3) zur Einsatzreife gebracht. Die Systeme wurden nach umfangreichen Tests in Ilmenau erstmals auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1975 der Öffentlichkeit präsentiert.



Abbildung 3: HRA 7000/7200

Als Digitalrechner kamen die gleichen Robotron-Rechner wie in der ersten Hybridrechnergeneration zum Einsatz. Als Analogrechnerteil wurde der von VUMS und ARITMA neu entwickelte Rechner ADT 3000 eingesetzt, der gegenüber HRA-4241/4041 durch folgende Eigenschaften zu einer neuen Qualität der Systeme führte:

- Die Digitalrechnerkopplung war in den Analogrechner integriert,
- Anfangswerte für die Integrierer und sonstige Parameter konnten über 24 Digitalpotentiometer durch den Digitalrechner eingestellt werden,
- die Ein- und Ausgänge der Analogrechnerkomponenten konnten über den Digitalrechner abgefragt werden,
- es existierte eine große Anzahl von Möglichkeiten zur Steuerung des Analogrechners durch den Digitalrechner sowie zur Abfrage logischer Zustände,
- es wurden auswechselbare Programmiertafeln verwendet.

Diese Systeme boten hardwareseitig die Voraussetzungen für die Realisierung aller unter 1. aufgeführten Ziele des Hybridrechnersystemeinsatzes. Die relativ große Anzahl an Digitalpotentiometern sowie der mögliche Zugriff des Digitalrechners auf die Analogrechnerkomponenten gestatteten eine durchgängige digitalrechnergesteuerte Vorbereitung des Analogrechnerlaufes einschließlich der Verifikation der Rechnerverschaltung und der Funktionstüchtigkeit der verwendeten Analogrechnerkomponenten. Zur vollständigen Automatisierung der Analogrechnervorbereitung fehlte nur noch die Hardwarevoraussetzung für eine automatische Verschaltung der Analogrechnerkomponenten. Dieses technische Problem wurde jedoch wegen des nötigen Aufwandes von keinem Hersteller befriedigend gelöst.



Abbildung 4: HRA 7000 System: links ADT300 mit Analogperipherie und Bedienschreibmaschine, im Hintergrund Lochbandstation und R4000, rechts Plattenstrecke

3 Softwareentwicklung für die HRA-Systeme

Von seiten der Hardwareproduzenten lag zu Beginn der HRA-Entwicklungsarbeiten keinerlei Erfahrung auf dem Gebiet der nötigen Hybridrechnersoftware vor, so daß diesbezüglich nach einem Kooperationspartner gesucht wurde. Diesen fand man in Form einer Arbeitsgruppe am Rechenzentrum der TH Ilmenau. Dort wurden anwendungsorientierte Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Hybridrechentechnik durch Prof. Dr. R. Schönefeld geleitet. In die Arbeiten dieser Gruppe wurden im weiteren die durch den Autor geleiteten Softwareentwicklungsarbeiten für die HRA-Systeme integriert.

Die Softwareentwicklung begann mit Verfügbarkeit des ersten HRA-Systems im Jahre 1973 und wurde gegen Ende der 70er Jahre abgeschlossen. Abb. 5 zeigt eine grobe Übersicht über die wichtigsten der entwickelten Softwarebausteine, die im folgenden kurz beschrieben werden sollen.



Abbildung 5: Software für HRA Systeme

3.1 Betriebssystemebene

ZFT-R konnte bei der Entwicklung der Betriebssysteme für die R-4000/4200-Familie auf wenig Erfahrung aufbauen, entwickelte aber eigene Betriebssystemlinien ohne Orientierung an der Software des Hardwarependants – der DDP 516. So war es nicht verwunderlich, daß Anfang der 70er Jahre zunächst kein einheitliches modulares Konzept und kein einheitliches Anwendungsprogramminterface für alle Betriebssystemvarianten vorlagen. Vielmehr wurde in Abhängigkeit von der zu bedienenden Sekundärspeichertechnik eine Anzahl von unterschiedlichen Betriebssystemen entwickelt (kernspeicherorientiert: ESKO, EAS; plattenorientiert: ESPO/ASPO; bandorientiert: OSSEP). Die Auswahl nur eines Basissystems für die Hybridrechentechnik war deshalb nicht möglich, so daß dafür unterschiedliche Betriebssystembasislinien genutzt werden mußten.

Ein erstes Betriebssystem ESKO-4H für HRA-4241 Systeme wurde von Robotron auf Basis eines Echtzeitbetriebssystems für den R-4200 entwickelt. Es enthielt die Koppelwerksbedienung und eine Interruptbehandlung entsprechend dem Echtzeitverarbeitungskonzept der ESKO Betriebssysteme. Das System war als eine nicht auf den Hybridrechnereinsatz zugeschnittene Behelfslösung anzusehen.

Das Konzept der Nutzung des Echtzeitbetriebssystems ESKO für die Hybridrechnersysteme wurde deshalb in Ilmenau neu entwickelt und in Form des ESKO-4000HA für die Systeme HRA-7000/4041 implementiert. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit des Digitalrechners auf die Analogrechnerinterrupts in der Parallelarbeitsphase des Systems gelegt. Sie wurde durch eine spezielle Echtzeitorganisation in dieser Phase erreicht. Darüber hinaus wurde eine auf die Belange der Hybridrechnerlösung zugeschnittene Dialogschnittstelle zum System entwickelt, die die Steuerung und Kontrolle des Analogrechners in der nicht zeitkritischen Phase der Hybridrechnerlösung (außerhalb der Parallelarbeitsphase) erlaubte.

Für die Bedienung von SPOZA oder ADT-3000 in Standalone-Programmen bzw. unter Betriebssystemen, die Anwendungen nicht im beschränkten Befehlsmodus arbeiten ließen (an R-4200 Rechnern existierte dieser Modus nicht), wurde ein Unterprogrammpaket SEA für SPOZA und ADT (selbständiges Ein-/Ausgabeprogrammpaket) entwickelt, das die Koppelwerks-/Analogrechnerbedienung übernahm und die Parallelarbeit von Analog- und Digitalrechner in gleicher Weise realisierte wie das ESKO-HA System.

Für HRA-7000 wurde unter Nutzung einiger Robotron-Betriebssystemkomponenten ein einfaches Plattenbetriebssystem EAS-40PI (Ein-/Ausgabesystem - plattenorientiert - Ilmenau für R-4000) entwickelt. Das System arbeitete mit dem Aufbereitungssystem ASPO (plattenorientiertes Robotron-Betriebssystem, das die Programmentwicklung unterstützte) zusammen und wurde vor allem in Verbindung mit dem Interpreter DIWA-HYBRID genutzt. Die gesamte Hybridrechnerhardware wurde durch diese Systemkomponenten optimal genutzt, und die interaktiven Nutzerschnittstellen waren gut auf den gesamten Problemlösungsprozeß zugeschnitten. Diese Systemkombination kann als das ausgereifteste Hybridrechnerbetriebssystem betrachtet werden, was für die HRA-Systeme entwickelt wurde. Allerdings wurde es nicht vertrieben und das aus gutem Grund, denn es gab nur ein HRA-System mit Platten: das in Ilmenau.

3.2 Systemprogramme

Neben umfangreichen Testprogrammen für den Analogrechner und die Analog-/Digitalrechnerkopplung wurden Programme für Standardaufgaben des Digitalrechners während der Parallelarbeitsphase, insbesondere für die Realisierung von digitalen Funktionsgebern, entwickelt

3.3 Dialogschnittstelle

Erste Erfahrungen mit der Nutzung der ESKO Betriebssysteme zeigten, daß es Akzeptanzprobleme bei den Nutzern gab, die folgende Ursachen hatten:

- Die Nutzer von Analogrechentechnik waren es gewohnt, Modelländerungen sowohl qualitativ als auch quantitativ sehr schnell durch Umstecken von Programmierschnüren und Verändern von Potentiometereinstellungen vorzunehmen. Man blieb damit gedanklich „im Problem“ und konnte sich auf dessen Lösung konzentrieren, ohne von aufwendigen technischen Vorarbeiten abgelenkt zu werden.
Die nötigen Arbeiten bei Änderungen am digitalrechnerseitigen Programm waren dagegen bei den verfügbaren Speichergrößen der hauptsächlich eingesetzten R-4200-Technik immens, da kein Hauptspeicherplatz für alle benötigten Systemprogramme vorhanden war und externe Massenspeicher fehlten. Die Vorbereitung bzw. Änderung des Digitalrechnerprogrammteils artete deshalb gewöhnlich in Kämpfen mit dem Lochstreifenmedium aus. Die langsamen und unsicheren Lochstreifenleser bildeten eine Schwachstelle des Systems. Für die Nutzer war damit der Umgang zumeist frustrierend.
- Der Umfang der zu beherrschenden Programmier- und Nutzerschnittstellen des Digitalrechners war für die meisten Hybridrechnernutzer bei Verwendung der ESKO-Plattform zu komplex.

Aus diesen Gründen wurde nach ersten Erfahrungen mit der ESKO-basierten Software nach Wegen gesucht, um dem Hybridrechnerprogrammierer und -nutzer digitalrechnerseitig eine einfache Programmier- und Nutzerschnittstelle zu bieten. Diese sollte ihm eine Arbeitsweise am Digitalrechner erlauben, die der gewohnten Arbeit am Analogrechner entsprach, bei der aber trotzdem die volle Geschwindigkeit der Hardware in der Rechenphase zur Verfügung stand.

Im Ergebnis wurde ein System konzipiert, das

- eine speziell für die HRA-Systeme konzipierte Sprache in der nichtzeitkritischen Vorbereitungsphase der Rechnung interpretativ (Kommando oder Programm) verarbeiten und
- während des zeitkritischen parallelen analog-digitalen Problemlösungsprozesses compilierte Programmteile direkt abarbeiten konnte.

Als Basis wurde ein von Robotron entwickeltes Interpretersystem DIWA (Dialogsystem für wissenschaftliche Anwendungen) verwendet, dem eine FOCAL-ähnliche Sprache zu Grunde lag. In dieses System wurden alle für die Hybridrechentechnik benötigten Anweisungen und Sprachelemente eingearbeitet, insbesondere sogenannte Analogrechnervariablen für die Ein-/Ausgabe von Werten vom bzw. zum Analogrechner, der Start und die Organisation der Parallelarbeit von Analog- und Digitalrechner sowie Elemente für die Verifikation der Analogrechnerverschaltung. Im weiteren (es gab einige unterschiedliche Namen für die eingesetzten Varianten) soll dieses Interpretersystem als DIWA-HYBRID bezeichnet werden.

Analogrechnervariablen adressierten Analogrechnerkomponenten und standen für deren Analogwerte. Die Interpretation derartiger Variablen in arithmetischen Ausdrücken erforderte demzufolge Eingaben von den adressierten Analogrechnerkomponenten. Stand dagegen eine Analogrechnervariable auf der linken Seite einer Wertzuweisung, so erfolgte die Ausgabe des rechtsseitig berechneten Wertes an die adressierte Analogrechnerkomponente. Durch die Ausführung der Anweisung

$$L \text{ } \emptyset C ('110) = \text{sgrt}(x) * \emptyset A ('104)$$

erfolgte so beispielsweise die Einstellung des Potentiometers 110 (hier konnten auch symbolische Adressen stehen) auf den Wert des rechts stehenden Ausdruckes, in dem $\emptyset A ('104)$ für den Wert der Analogrechnerkomponente 104 stand.

Durch die einfachen Editiermöglichkeiten des Interpreters und wegen der nicht nötigen Compiler- und Ladeprozesse konnten solche Programme für die Vorbereitung des Analogrechners sehr einfach und schnell erstellt, geändert und ausgeführt werden.

Der Start der Parallelrechnung von Analog- und Digitalrechner erfolgte ebenfalls über ein Interpreterkommando. Der Ablauf war wie in den ESKO-Systemen organisiert. Durch Analogrechnerinterrupt wurden Programme gestartet, die vorher compiliert und geladen wurden. In diesen Programmen konnten Analogrechnerein-/ausgaben sowie

Zugriffe auf die Variablen des Interpreters über spezielle Programminterfaces ausgeführt werden.

Zur Verifikation der Analogrechnerschaltung wurde ein Prinzip realisiert, das die Firma EAI verwendete. Danach wurden in einem VERIFY-Modus des Interpretersystems Wertzuweisungsanweisungen so interpretiert, daß an Stelle einer Wertzuweisung eine Überprüfung stattfand, ob der Wert der linken Seite bis auf einer vorgebbaren Genauigkeitsabweichung dem der rechten Seite entsprach. Eine in diesem Modus ausgeführte Anweisung

$$L \text{ } \emptyset C ('110) = \text{sgrt}(x) * \emptyset A ('104)$$

veranlaßte somit eine Überprüfung, ob Potentiometer 110 auf den rechts stehenden Wert eingestellt war. Im Zusammenhang mit weiteren Eigenschaften des Interpretersystems, die hier nicht vollständig beschrieben werden können, konnte man mit einem entsprechenden DIWA-HYBRID-Programm nachweisen, daß gesteckte Analogrechnerschaltung sowie Potentiometereinstellungen dem zu lösenden Problem entsprachen. Für die Erstellung eines solchen Verifikationsprogrammes konnte man einfache Regeln angeben. Die dazu nötigen Schritte entsprachen weitgehend dem konventionellen Analogrechnerprogrammierungsprozeß. Die wesentlichen Teile eines solchen Programms waren Abbildungen der Rechenschaltung, der Skalierungsbeziehungen und anderer dem Analogrechnerprogrammierer wohlbekannten Dinge auf die DIWA-HYBRID-Sprache.

Bild 5 zeigt schematisch die Phasen einer Hybridrechnerlösung, die durch geeignete Elemente der Sprache DIWA-HYBRID unterstützt wurden.

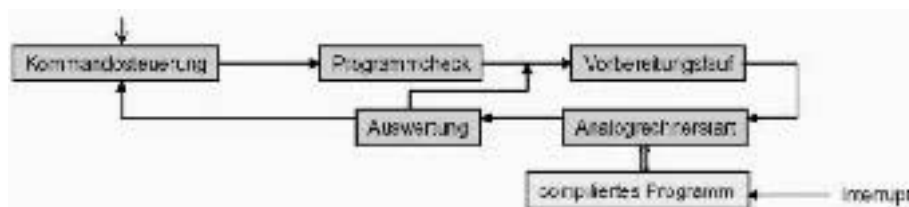


Abbildung 6: Hybridrechnerproblemlösung mit DIWA-HYBRID

DIWA-HYBRID wurde in mehreren Varianten – sowohl als Standalone-Programm, als auch für ESKO- und EAS-40PI-Betriebssysteme – implementiert. Das Gesamtkonzept hatte sich sehr bewährt. Die Zielstellung der DIWA-HYBRID Entwicklung, Nutzer und Programmierer durch das System so zu unterstützen, daß ähnliche Arbeitsweisen wie an einem Analogrechner möglich waren, wurde vollständig erreicht. Dabei mußten wegen der gemischt interpretierenden-compilierenden Arbeitsweise keine Abstriche hinsichtlich der Geschwindigkeit des Digitalrechnerprogramms in der zeitkritischen Phase der Rechnung gemacht werden.

Nach der Einführung wurde das System – insbesondere in der Standalone-Variante – von allen Hybridsystemnutzern verwendet. Hybridsystemnutzer, die vor der DIWA-HYBRID-Einführung hinsichtlich der Digitalrechnernutzung sehr zögerlich waren,

eigneten sich danach sehr schnell das nötige Wissen an und bezogen die Digitalrechner-nutzung zunehmend in den Problemlösungsprozeß ein.

3.4 Analogrechnerprogrammierung und Analogrechnervorbereitung

Wie beschrieben, setzte die Verifikation der Äquivalenz von Rechnerverschaltung und Ausgangsproblem voraus, daß die Abbildung der zu lösenden Problemdifferentialgleichungen in die die Analogrechnerverschaltung beschreibenden DIWA-HYBRID-Konstrukte nach einem bestimmten Schema zu erfolgen hatte. Das entsprechende Programmierverfahren war einerseits aufwendig, andererseits jedoch schematisch abzuwickeln. Das legte den Gedanken der Entwicklung eines Fachsprachencompilers nahe, der eine Eingabesprache verarbeiten, die zu lösenden Differentialgleichungen beschreiben und daraus ein entsprechendes DIWA-Programm generieren konnte, das

- als notwendige Verschaltung des Analogrechners interpretiert werden und somit dem Analogrechnerprogrammierer für die Verschaltung des Analogrechners dienen kann,
- die Skalierungsbeziehungen zwischen den Problemgleichungen und den Maschinengleichungen enthält, so daß die Werte der Analogrechnerlösungen damit in die Werte der Problemgleichungen umgerechnet werden können,
- Anweisungen für die Einstellung der Digitalpotentiometer besitzt und
- in der beschriebenen Art für den Nachweis der Korrektheit der Analogrechnerverschaltung und der Funktion der verwendeten Komponenten benutzt werden kann.

Ein solcher Compiler AVOR (Analogrechner-Vorbereitungsprogramm) wurde für die HRA-Systeme und für die Zielsprache DIWA-HYBRID entwickelt. Er reduzierte die Vorbereitung einer Hybridrechnerlösung erheblich, indem er den Programmierer von der aufwendigen Ableitung der Rechnerschaltung und der Ableitung eines entsprechenden DIWA-HYBRID-Programmes über einen langwierigen und fehlerträchtigen Prozeß von Gleichungsumstellungen und -normierungen befreite.

4 Einschätzung der Arbeiten aus heutiger Sicht

Die HRA-Systeme erreichten mit HRA-7000/7200 von seiten der Hardware 1975 den internationalen Stand von etwa 1970 (Systeme der Firma EAI). Von seiten der Software war der hier umrissene Umfang erst später verfügbar.

Im RGW-Bereich waren die HRA-Systeme die einzigen Hybridrechnersysteme, die in einer größeren Serie produziert wurden. Sie waren im RGW-Bereich durchaus als Spitzenprodukte anzusehen und erhielten 1973 und 1975 auf Messen in Leipzig und Brno (ČSSR) insgesamt drei Goldmedaillen.

Die Nutzung der Systeme erfolgte in der DDR teilweise auf hohem Niveau, teilweise fehlten jedoch bei den Nutzern anfangs die erforderlichen Kenntnisse in der Digitalrechnerprogrammierung, so daß erst nach erheblichen Einarbeitungszeiten systemadäquate Problemlösungstechnologien genutzt werden konnten. Durch die Gründung einer Nutzergemeinschaft der HRA-System-Nutzer im Jahre 1978 konnten Wissen und Erfahrungen über Hard- und Software und über entwickelte Programme schneller weitergegeben werden.

Als gegen Ende der 70er Jahre Hardware, Software und das nötige Wissen über die Nutzung der HRA-Systeme vorhanden waren, zeichnete sich wegen zunehmender Leistungsfähigkeit der Digitalrechner und der Einführung der Mikrorechentechnik das Ende der Hybridrechnernutzung und damit der Weiterentwicklung der Hybridrechner ab.

Hardwareentwicklungsvorhaben wie die Weiterentwicklung des ADT 3000, die digitalrechnergesteuerte Verschaltung des Analogrechners und die digitale Realisierung des Analogrechnerprinzips über spezielle Hardware, wurden deshalb aufgegeben.

Literaturverzeichnis

- Hübel, G.; Schröder, H. P.: Automatisierte Analogrechnervorbereitung. In: rechentechnik/ datenverarbeitung 16 (1979), Beiheft 3, S. 44-50.
- Reschke, D.; Scheffel, H.; Schönefeld, R.: Einsatz von R 4200 und R 4000 in hybriden Rechner-systemen. In: rechentechnik/ datenverarbeitung 13 (1976), 1, S. 25-30.
- Scheffel, H.: Hybridrechnerlösungen mit dem System DIWA HA/DIKO. In: rechentechnik/ datenverarbeitung 16 (1979), Beiheft 3, S. 33-40.
- Scheffel, H.; Stahl, A.: Erweitertes ESKO 4000 für Hybridrechentechnik. In: rechentechnik/ datenverarbeitung 16 (1979), Beiheft 3, S. 41-44