

Informatik aktuell

Herwig Unger *Hrsg.*

Echtzeit 2019

Autonome Systeme – 50 Jahre PEARL



 Springer Vieweg

The Springer Vieweg logo features a white chess knight icon on the left, followed by the text 'Springer Vieweg' in a white, sans-serif font.

Informatik aktuell

Herausgegeben
im Auftrag der Gesellschaft für Informatik e. V. (GI)

Ziel der Reihe ist die möglichst schnelle und weite Verbreitung neuer Forschungs- und Entwicklungsergebnisse, zusammenfassender Übersichtsberichte über den Stand eines Gebietes und von Materialien und Texten zur Weiterbildung. In erster Linie werden Tagungsberichte von Fachtagungen der Gesellschaft für Informatik veröffentlicht, die regelmäßig, oft in Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen Gesellschaften, von den Fachausschüssen der Gesellschaft für Informatik veranstaltet werden. Die Auswahl der Vorträge erfolgt im allgemeinen durch international zusammengesetzte Programmkomitees.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/2872>

Herwig Unger
(Hrsg.)

Echtzeit 2019

Autonome Systeme – 50 Jahre PEARL

Fachtagung des gemeinsamen Fachausschusses
Echtzeitsysteme von
Gesellschaft für Informatik e.V. (GI),
VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungs-
technik (GMA) und
Informationstechnischer Gesellschaft im VDE (ITG,
Boppard, 21. und 22. November 2019

GESELLSCHAFT FÜR INFORMATIK E.V.



VDE

VDI/VDE-Gesellschaft
Mess- und Automatisierungstechnik

ITG

INFORMATIONSTECHNISCHE
GESELLSCHAFT IM VDE



Springer Vieweg

Hrsg.
Herwig Unger
Lehrstuhl für Kommunikationsnetze
FernUniversität in Hagen
Hagen, Deutschland

Programmkomitee 2019
R. Baran, Hamburg
J. Bartels, Krefeld
M. Baunach, Graz/Österreich
B. Beenen, Lüneburg
J. Benra, Wilhelmshaven
V. Cseke, Wedemark
R. Gumzej, Maribor/Slowenien
W. A. Halang, Hagen
H. H. Heitmann, Hamburg
M. M. Kubek, Hagen
R. Müller, Furtwangen
M. Schaible, München
G. Schiedermeier, Landshut
U. Schneider, Mittweida
H. Unger, Hagen (Vorsitz)
D. Zöbel, Koblenz

Netzstandort des Fachausschusses Echtzeitsysteme: <http://www.real-time.de>

ISSN 1431-472X
Informatik aktuell
ISBN 978-3-658-27807-6 ISBN 978-3-658-27808-3 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-27808-3>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Die 40. Fachtagung „Echtzeit“ und 50 Jahre Geschichte von PEARL: selbst in Zeiten, in denen es eine wahre Flut wissenschaftlicher Konferenzen gibt, kommt es sehr selten vor, dass eine dieser Veranstaltungsreihen es schafft, vierzigmal hintereinander erfolgreich durchgeführt zu werden.

In vielen Fällen ist eine Tagung mit dem persönlichen Engagement Einzelner und einem bestimmten, heute gerade in der Informatik sehr oft recht kurzlebigen Thema verbunden. Der gemeinsame Fachausschuss „Echtzeitsysteme“ der Gesellschaft für Informatik, der Informationstechnischen Gesellschaft im VDE und der VDI/VDE-Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik hat es offenbar geschafft, mehrere Generationen von Wissenschaftlern und Ingenieuren von einem Thema zu begeistern, das für viele technische Systeme, insbesondere autonom in unserer Umwelt arbeitende, von existentieller Bedeutung ist und dessen Bedeutung heute größer ist als vor 40 Jahren: dem Betrieb informations- und automatisierungstechnischer Systeme in Echtzeit (engl. real time), der selbige in die Lage versetzt, bestimmte Ergebnisse verlässlich innerhalb einer vorherbestimmten Zeitspanne, zum Beispiel in einem festen Zeitraster, liefern zu können. PEARL, die einzige genormte deutsche Programmiersprache, wird wie keine andere diesen Ansprüchen gerecht und ihre Behandlung zieht sich seit Anbeginn wie ein roter Faden durch die Fachtagungsreihe „Echtzeit“ – selber ist PEARL jedoch noch rund zehn Jahre älter als die Reihe.

In die Entwicklung dieser Programmiersprache sind über die gesamte Zeit Anforderungen und Erfahrungen aus Forschung und Industrie eingeflossen, neben der ursprünglichen Forderung nach Echtzeitfähigkeit der entwickelten Programme ebenso gerade heute aktuelle Ansprüche an Sicherheit und Parallelität in der Abarbeitung. Damit ist PEARL eine leistungsfähige Programmiersprache mit vielen Alleinstellungsmerkmalen geworden, die den industriellen Systementwurf signifikant beeinflussen und verbessern könnte. Umso bedauerlicher und fast schon beschämend ist es, dass die deutsche Industrie sich nicht intensiv und nachhaltig um diese Entwicklung kümmert und ihr zu breiterem Einsatz verhilft. Software-Pannen, wie aktuell im Rahmen der Flugzeugentwicklung, zeigen eindeutig die Notwendigkeit hierfür und die Wettbewerbschancen hierbei auf.

Peter Holleczeck ist als einer der Väter und ersten Beteiligten an der Fachtagungsreihe sowie als einer der ersten Entwickler von PEARL sicherlich derjenige unter uns, der aus eigenem Erleben große Teile der fünfzigjährigen PEARL-Geschichte noch repräsentativ darstellen, einordnen und bewerten kann. Er wird den diesjährigen Eröffnungsvortrag dazu nutzen, um neben der von Peter Elzer 2005 vorgenommenen Würdigung der frühen Geschichte von PEARL einen Abriss über den gesamten Entwicklungsprozess von der Sprache zu geben und insbesondere das hierzu bei der Gesellschaft für Informatik eingerichtete digitale Archiv vorstellen, in dem wesentliche Dokumente der Geschichte für künftige Generationen verfügbar gemacht werden.

Die Organisatoren konnten sich in diesem Jubiläumsjahr über eine besonders hohe Anzahl von Vortragseinreichungen für unsere Tagung freuen. Aus diesen hat das Programmkomitee 13 Beiträge ausgewählt, die auf der Tagung in Boppard präsentiert werden und in diesem Tagungsband wiederzufinden sind.

„Autonome Systeme“ sind ein Anwendungsbereich, in dem besonders oft die Forderung nach Einhaltung von Echtzeitbedingungen gestellt werden müssen. Die Beiträge dieser Sektion zeigen aber auch, wie weitgefächert die Probleme in diesem Bereich sein können: neben verschiedenen Anwendungsszenarien diskutieren die Autoren Fehlersuche und Testumgebungen für derartige Systeme. Genauso vielfältig wie die Anwendungen sind auch mögliche Systemarchitekturen, deren Entwurf im Bereich der Prozessoren und Sensoren gerade für das „Internet der Dinge“ häufig interdisziplinäre Ansätze erfordert. Viele dieser Anwendungen müssen zudem hinsichtlich ihrer funktionalen Sicherheit hohen Ansprüchen gerecht werden: Software, Hardware und geeignete Monitoring-Systeme müssen hierzu ihren Beitrag leisten. Eine Reihe weiterer Problemlösungen und Entwicklungen im Bereich der Controller, Betriebssysteme und der Verifikation ist schließlich im Abschnitt „Echtzeit“ enthalten und rundet durch seine Vielfalt die Betrachtungen im Tagungsprogramm ab.

An dieser Stelle sei wiederum Frau Jutta Düring für die organisatorische Abwicklung der Tagung sowie die redaktionelle Unterstützung bei der Erstellung dieses Tagungsbandes ganz herzlich gedankt. Wie in allen Vorjahren ist das in Familientradition geführte Hotel Ebertor in Boppard der Gastgeber für unsere Tagung: wir danken der Leitung und den Mitarbeitern für die langjährige, gleichbleibend gute Betreuung. Allen Teilnehmern wünschen wir erneut schöne Stunden in Boppard am Rhein, viele gute Vorträge und Diskussionen sowie zahlreiche Anregungen für die weitere Arbeit in den kommenden Jahren.

Hagen, im August 2019

Herwig Unger

Inhaltsverzeichnis

Eröffnungsvortrag

PEARL wird 50 und das Digitale Archiv dazu	1
<i>Peter Holleczek</i>	

Autonome Systeme

Miniaturautonomie und Echtzeitsysteme	13
<i>Stephan Pareigis, Tim Tiedemann, Jonas Fuhrmann, Sebastian Paulsen, Thorben Schnirpel, Nils Schönherr</i>	

Ein autonomes System zur Erfassung von WLAN-Probe-Requests	23
<i>Miriam Alina Scholz, Robert Baumgartl, Dirk Müller</i>	

Test und Fehlersuche in komplexen Autonomen Systemen	33
<i>Thomas Preusser, Albert Schulz, Alexander Weiss, Martin Heiningner, Martin Leucker, Malte Schmitz, Torben Scheffel, Daniel Thoma</i>	

Aufbau einer Mixed-Reality-Versuchsumgebung zur Absicherung autonomer Systeme	43
<i>Georg Seifert, Thomas Hempen, Werner Huber</i>	

Systemarchitekturen

Autonomous Exploration, Mapping and Pathfinding using Sensor Fusion with a PhantomX MKIII	53
<i>Christoph Brandau, Jan-Gerrit Jaeger, Marco Steinbrink, Dietmar Tutsch</i>	

Implementierung einer Tensor Processing Unit mit dem Fokus auf Embedded Systems und das Internet of Things	61
<i>Jonas Fuhrmann</i>	

Mikroarchitekturgewahre Analyse des Ressourcenverbrauchs unter Berücksichtigung des Gesamtsystems	71
<i>Phillip Raffeck</i>	

Sicherheit

Entscheidungslogik generieren	81
<i>Jens Lehmann</i>	

Zur sicheren Vernetzung von Kraftfahrzeugen	89
<i>Christoph Maget</i>	

Condition Monitoring System in Lua unter RTOS-UH	99
<i>Tobias Aretz, Jan Bartels, Dennis Göbel</i>	

Echtzeit

Betrachtungen zu Latenzquellen und deren Beobachtung in POSIX-Systemen am Beispiel von Container-Runtimes.....	109
<i>Ludwig Thomeczek, Andreas Attenberger, Johannes Kolb, Václav Matoušek, Jürgen Mottok</i>	

Verifikation einer Funktionsblockbibliothek für die Prozessautomatisierung	119
<i>Marc L. Schulz</i>	

Cache-Kohärenz für embedded Multicore-Mikrocontroller mit harter Echtzeitanforderung	129
<i>Philipp Jungklass, Mladen Berekovic</i>	



PEARL wird 50 und das Digitale Archiv dazu

Peter Holleczeck

Regionales Rechenzentrum (RRZE)
der Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)

Zusammenfassung. 2019 wird PEARL 50 Jahre alt [43]. Während die Anfänge von PEARL von P. Elzer [37], einem der PEARL-„Väter“, bereits ausführlich gewürdigt wurden, beschäftigt sich dieser Beitrag, motiviert durch aktuelle Vorfälle, mit der Langzeitentwicklung und beleuchtet die Vergangenheit mit Hilfe des neu eingerichteten Digitalen Archivs.

Der Autor, seit 1970 bei der PEARL-Entwicklung und später in Gremien dabei, hatte die Möglichkeit, Zeitdokumente zu sammeln. Das sich abzeichnende Jubiläum und unübersehbare Papier-Alterungsspuren führten zu dem Entschluss, den Bestand zu digitalisieren und ein digitales Archiv einzurichten. Plattform ist die kürzlich von der Gesellschaft für Informatik (GI) ins Leben gerufene Digital Library (dl). Das in Aufbau befindliche Archiv wird in Struktur, Inhalt und Stand erläutert.

Die reichhaltigste Einzelgruppe an Archiv-Dokumenten besteht aus den vom damaligen Kernforschungszentrum Karlsruhe in seiner Rolle als Projektträger des BMFT herausgegebenen PDV-Berichten und -Notizen. Sie zeigen die Konsequenz, mit der im Rahmen des 2. DV-Programms der Bundesregierung in den 1970er-Jahren Technologie- und Industrieförderung vorangetrieben wurden. Ein in der Aufmachung gepflegtes Gegengewicht zu den „grauen“ PDV-Dokumenten ist die Anfang der 1980er-Jahre ins Leben gerufene redigierte Zeitschrift PEARL-Rundschau.

Fundstücke aus dem Archiv erlauben einen kurzweiligen Blick auf die Höhepunkte der PEARL-Geschichte. Sie führen zu der Erkenntnis, dass PEARL-Geschichte gleichermaßen Echtzeit-Geschichte ist, dass vieles schon einmal da war und zu der Frage, was daraus zu lernen ist.

1 Anlass und Lage

50-jährige Jubiläen haben in diesem Jahr Konjunktur, sogar mit technisch-wissenschaftlichem Bezug. Spektakulär wirkt heute noch die Apollo 11-Mission mit der Mondlandung. Wesentlich verhaltener und abstrakter kommt einem die Gründung der Gesellschaft für Informatik vor. PEARL findet sich dennoch in guter Gesellschaft. Der hohe Innovationsschub der vergangenen Jahre hat das Interesse an „alter“ IT-Technik nicht erlahmen lassen, sondern eher beflügelt, wie z. B. die 2015 gelungene Restaurierung einer Zuse Z23 an der FAU [40], mit seit Jahren ausgebuchten Führungen. Unabhängig davon ist das Interesse an IT/Echtzeit-technischen Leistungen (eher Pannen) Tagesgespräch. Sei es die unverständliche Brems-Latenz beim ICE, wie es im SPIEGEL [38] heißt „Das Kommando zum Anhalten eines ICE-3-Zugs irrt etwa eine Sekunde lang durch

den Rechner, bis es ausgeführt wird“, oder die nicht-redundanten Sensoren bei der Boeing 737 Max 8, wie im SPIEGEL [42] zu lesen ist: „Bisher bezog sich das MCAS zudem immer nur auf die Daten eines Sensors und ignorierte die Daten des anderen. Ein für die Luftfahrt unübliches Verfahren: Dort gilt aus Sicherheitsgründen das Gesetz der Redundanz, alles muss im Prinzip mindestens doppelt vorhanden sein, um den Ausfall eines Systems ausgleichen zu können.“

Man bekommt den Eindruck: Es lohnt sich, den Dingen auf den Grund zu gehen.

2 ein kleiner Rückblick

Wie P. Elzer, einer der „Väter“ von PEARL, in [37] ausführte, lag Ende der 1960er Jahre echtzeittechnisch viel in der Luft. Der Name PEARL wird 1969 zum ersten Mal genannt. Der Autor, 1969 nur mit ALGOL und FORTRAN befasst, gesellt sich 1970 zur PEARL-Entwicklung und hat fortan die Szene über die Jahre begleitet, wenn auch letztlich nur noch aus der Ferne. Er bedankt sich für die Chance, seinen Rückblick hier zu präsentieren, der durchaus persönlich orientiert ausfällt. Der Rückblick, so interessant er sein mag, soll sich aber nicht im „Gestern“ verlieren. Er soll auch demonstrieren, was PEARL jetzt ausmacht und wo es hingehen kann. PEARL kann und wird dabei als Synonym für Echtzeit-IT verwendet werden. Generell steht immer die Frage im Hintergrund, was aus der Vergangenheit zu lernen ist.

2.1 plakativ

Was ist das interessante an einem Rückblick? Ahnenforschung? Legitimation durch die Vergangenheit? Bei einem technischen Rückblick: Kuriositäten? Aus heutiger Sicht waren es sicher die saalfüllenden Rechner der ersten Stunde. Den konventionellen Rechner-Anordnungen der damaligen Zeit vergleichbar, handelte es sich eigentlich um Prozeßrechenzentren. Ein Rechner war verantwortlich für eine ganze Produktionsanlage, für ein Kraftwerk. Im Gegensatz zu ihren Dimensionen waren die Rechner bezüglich ihrer IT-Architektur merkwürdig und beschränkt. Gerechnet wurde auf einem „Accumulator“, Register waren weitgehend Fehlanzeige, adressiert wurden „Worte“ (mit z. B. 24 bit), nicht Bytes. Der Speicherausbau war hart begrenzt, in der Regel auf 32k- oder 64k-Worte. Man fragt sich, wie man in dieser Umgebung arbeiten konnte . . . Lediglich bei der Rechengeschwindigkeit waren sie, mit Zykluszeiten unter $1\mu\text{s}$, schon relativ flott. Als Beispiel mag die in ECL-Technik aufgebaute Rechenanlage Siemens 306 dienen, die im Rahmen der ASME-PEARL-Implementierung (siehe Abschnitt „die PDV-Zeit“) ab 1974 zum Einsatz kam (Abb. 1).

2.2 chronologisch-organisatorisch

Die Historie läßt sich einfach in Form von Phasen beschreiben.



Abb. 1. Prozessrechner Siemens 306 um 1975, rechts Peripherie und Experiment; Arbeitsplatz mittig mit Rollkugel (umgekehrte Maus) und Vektorgraphikschirm

der Aufbruch (1969-1971) Das Ende der 1960er Jahre war nicht nur politisch von Bedeutung, auch technologisch herrschte Aufbruchstimmung. Die ersten Universitäten in Deutschland bekamen „ihren“ Computer. Dass sie nicht nur rechnen konnten, war bald erkannt. Der Bedarf an Steuerungsmöglichkeiten für technische Prozesse war auf breiter Front offenbar und führte zur Entwicklung einer *Prozessperipherie*. Nur an der Programmierung haperte es. Die ersten höheren Programmiersprachen, entwickelt für sequentielle Vorgänge, wie z.B. FORTRAN und ALGOL, scheiterten am nicht-sequentiellem Verhalten realer (technischer) Prozesse. Es war sicherlich ein Glücksfall, dass sich Anwender aus der Industrie, Hersteller, Institute und Softwarehäuser in Deutschland zusammenfanden und sich im PEARL-Arbeitskreis austauschten. BBC brachte „PAS1“ mit. P. Elzer wurde der Sekretär des AK. Die ersten Publikationen zu PEARL entstanden [2, 3]. Am Physikalischen Institut der Universität Erlangen-Nürnberg förderte der BMFT bis 1971 die Entwicklung der Prozeß-Programmiersprache PEARL im Rahmen der Nuklearen Datenverarbeitung, Vorhaben NDV 13 bzw. NDV 15 [4].

die PDV-Zeit (1971–1980) Der Bund erkannte den Bedarf und das breite Engagement in Deutschland. Er sah die weltweiten Chancen einer deutschen Initiative und förderte großzügig und durchaus nachhaltig die „Prozesslenkung

durch Datenverarbeitung“ im Projekt PDV. Projektträger war die Gesellschaft für Kernforschung in Karlsruhe (KfK). Im Rahmen von PDV versammelte sich die ganze Echtzeit-Szene. Es entstanden die ersten PEARL-Compiler, in der Industrie, bei Softwarehäusern und in Instituten. Im Rahmen der ASME (Arbeitsgemeinschaft Stuttgart-München-Erlangen) wurde erfolgreich eine arbeitsteilige Industrie-Universitäts-Kooperation praktiziert.

Leider blieb Ende der 1970er-Jahre der Elan des Bundes bei der internationalen Durchsetzung von PEARL auf der Strecke. Die seinerzeitigen Aktivitäten sind in den PDV-Mitteilungen, -Berichten und -Entwicklungsnotizen dokumentiert (Abb. 2) .

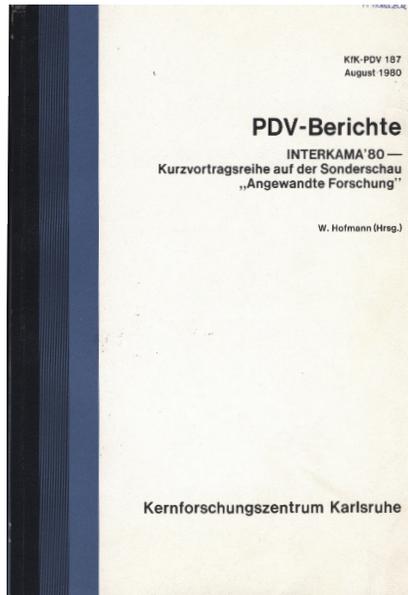


Abb. 2. KfK PDV 187, Sammlung von PDV-Abschlussberichten, 1980

die Zeit des PEARL-Vereins (1980–1991) Der Bund versüßte seinen Förder-Ausstieg durch Mitwirkung bei der Gründung des PEARL-Vereins, in dem alle Folgeaktivitäten, einschließlich der Weiterentwicklung, gebündelt werden sollten. Der Verein gab die wohlredigierte Zeitschrift PEARL-Rundschau (1980–1982) heraus, auch heute noch eine Fundgrube von innovativen Ansätzen. PEARL war in diesem Kontext, wie auch schon zur PDV-Zeit, nur ein Synonym für Echtzeit. Schriftleiter war P. Elzer. Jährliche Workshops wurden eingeführt, deren Tradition bis heute fortgeführt wird. Publiziert wurde anfangs im Eigenverlag, später bei Springer. Frühzeitig erkannt wurde die maßgebliche Rolle von PCs bzw. PC-Architekturen bei der Steuerungstechnik. Gewürdigt wurde sie durch die

Workshop-Reihe Personal Realtime Computing [23, 29]. Eine zentrale Förderung gab es nicht mehr. Entwicklungen mussten aus Eigenmitteln finanziert werden oder über normale Drittmittelförderung. An der FAU z. B. gelang der Einstieg in das DFG-Schwerpunkt-programm Mikroprozessor-Programmierung [27]. Die Standardisierung von PEARL wurde aufgesetzt [12]. Der Verein war durch die Gewichtung der Stimmrechte stark industrieorientiert, was die Standardisierung begünstigte, aber die Entwicklung nicht unbedingt förderte.

die GI-Zeit (1991 bis heute) Der Niedergang der deutschen IT-Industrie und die schleppenden Innovationen brachte den Verein in eine Schieflage, so dass eine Neuorientierung unumgänglich war. Die neue Heimat von PEARL und Rechtsnachfolger des PEARL-Vereins wurde die GI-Fachgruppe (FG) „Echtzeitprogrammierung“, später vereinigt mit „Echtzeitsystemen“ und letztlich zum GI-Fachausschuss (FA) ernannt. Zur Mitglieder-Information wurde 1992 der zwei Mal im Jahr erscheinende Rundbrief PEARL-News eingerichtet, der sich der Diskussion von Fachfragen unter dem Jahr widmet. PEARL wurde mit PEARL 90 auf einen neuen Stand gebracht. Nach der Umbenennung des Fachausschusses in Echtzeitsysteme wird „Echtzeit“ auch Bestandteil des Workshop-Namens und des Rundbriefs. Ihren ersten Internet-Auftritt bekam die FG 1997 unter www.real-time.de. Wissenschaft und Lehre rund um Echtzeit stehen seitdem im Vordergrund. Die Weiterentwicklung kommt in Gang. Zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses werden 2005 erstmals Reisestipendien zum Besuch von Tagungen vergeben, seit 2007 werden Preise für Abschlussarbeiten ausgelobt.

2.3 technisch-wissenschaftlich

Technisch-wissenschaftlich kann man PEARL und die Vergangenheit nach Begriffen des Software-Engineering einordnen.

die Sprache PEARL als Programmiersprache ist das Kind seiner Zeit. Vorbilder im konventionell sequentiellen Bereich waren ALGOL68 und PL/1. Fast revolutionär war 1970 [2] dagegen die Einführung von parallelen Tasks als Aktivitätsträgern, der zugehörige Task-Steuerung und der Dijkstra'schen Semaphore [1] zur Task-Synchronisierung. Die Kommunikation erfolgte über gemeinsame Daten. Zur Behandlung von Ausnahmesituationen dienten INTERRUPTs (für externe Ereignisse) und SIGNALs (für interne Ereignisse).

Das Aufkommen der Mehr-Rechner-Konfigurationen verlangte eine neue Art der Kommunikation. Ein erster Ansatz, hauptsächlich für Mehrprozessorkonfigurationen, baute primär auf netzglobale Daten [17]. In einem weitergehenden Ansatz wurden 1983 im Rahmen eines DFG-Vorhabens [20] Botschaftsoperationen zur Kommunikation erprobt. Um mit Wartesituationen umgehen zu können, wurden nichtdeterministische Kontrolloperationen nach Dijkstra [5] und Hoare [7] eingeführt, verbunden mit einem Timeout-Ausgang, der grundsätzlich auch zur Befreiung nach klassischen Blockadesituationen, z. B. bei Semaphoren, geeignet war. Die Standardisierung für Mehrrechner-PEARL [32] wurde aufgesetzt.

die Umgebung Das Programmieren in einer Hochsprache schafft zwar Erleichterungen bei der Erstellung, reicht aber nicht für die Entwicklung größerer wohlstrukturierter und handhabbarer Programme. Beispielhaft werden zwei von PEARL ausgehende Entwicklungen herausgegriffen. Schon früh erkannte R. Lauber [11] den Bedarf und entwickelte ein „Entwurfsunterstützendes PEARL-orientiertes Spezifikationssystem“ (EPOS). EPOS wurde permanent weiterentwickelt und lange Jahre kommerziell angeboten [35]. Mit dem Aufkommen verteilter Systeme folgte A. Fleischmann [22] mit dem „Parallel Activities Specification Scheme (PASS)“. PASS führte zu engagierten Diskussionen über „Objekte“ und „Subjekte“ [34]. Nach Einsätzen in der Kommunikationstechnik [33] zeigte PASS seine Fähigkeit zur Abbildung von naturgemäß nebenläufigen Geschäftsprozessen und führte zu einer Denkschule über subjektorientierte Geschäftsmodelle mit eigenen wissenschaftlichen Veranstaltungsreihen (www.s-bpm-one.org).

Sprachorientierte Testsysteme für klassische Programme [13], für verteilte Programme [14] und für verteilte Programme mit Botschaftsoperationen [19] rundeten die Umgebung ab.

Implentierungen Ziel der Bundesregierung und des PDV-Projekts war, möglichst viele deutsche Prozeßrechner zu versorgen. Was lag wirtschaftlich näher, als zu versuchen, mit einem Compilersystem mehrere Systemarchitekturen abzudecken, wie es im Rahmen der ASME (siehe Abschnitt „die PDV-Zeit“) erfolgte. Ein Compileroberteil generierte Code für eine abstrakte Zwischensprache und versorgte mit unterschiedlichen Codegeneratoren verschieden Zielsysteme mit eigens an PEARL angepassten Betriebssystemen [16]. Eine Besonderheit der Implementierung für die Siemens 306 war der erstmalige Einsatz einer standardisierten, der aus dem Bereich Teilchenphysik stammenden Prozessperipherie CAMAC [45]. Die Interruptauflösungszeit der 306-Implementierung (Zeit vom Eintreffen des Interrupts bis zur Ausführung des ersten PEARL-Statements) betrug 2,5 ms. Premiere war am 29.5.1975 (Abb. 3). Das erste Programm war ein Interpreter für CAMAC-Befehle.

Ende der 1970er Jahre brachten die großen deutschen Elektrokonzerne und Ausrüster (z. B. AEG-Telefunken, BBC, Dornier, Krupp-Atlas, Siemens) modernere byte-orientierte Prozeßrechner („Kleinrechner“) heraus, für die sie selbst Programmiersysteme entwickelten (z. B. AEG 80-xx, Siemens 3xx). Softwarehäuser (z. B. Werum, GPP) boten eigene Lösungen. Eine Überraschung war 1979 der Einstieg des US Computerherstellers Digital Equipment, der damals besonders im F&E-Bereich vertreten war. Gleichzeitig erschienen Mikroprozessoren auf dem Markt, erst als wohlfeiles Spielzeug belächelt, dann als Konkurrenz gefürchtet. Die Hochschulen erkannten das Potential schnell. Die FAU startete 1978 mit einem Betriebssystemkern für den Z80 [8], die Uni Hannover kam Ende 1981 mit PEARL für das Motorola 68000 Design Modul heraus [15], die FAU Ende 1982 mit verteiltem PEARL für den Zilog Z80 [18]. 1983 folgte GPP mit PEARL für Intel 8086 [21]. Die zugehörigen Echtzeitbetriebssysteme waren entweder eine Eigenentwicklung (Uni Hannover, FAU) oder herstellerneutral (GPP mit PortOs [36]). 1986 [25] kam erstmals UNIX als Trägerbetriebssystem