

Dr.-Ing. Gunter Kleinmichel

Dr.-Ing. Christoph Truöl

ADG Automatisierung Dresden GmbH

Hierarchisches Steuerungskonzept für die Prüfautomatisierung

Die rasante Entwicklung der Hard-/Software-Technologien setzt auch in der Prüfautomatisierung neue Maßstäbe. Autarke Produktionsprüfstände, gesteuert durch eine SPS mit Displayeinheit und Protokolldrucker erfüllen die heutigen Anforderungen nicht mehr und gehören der Vergangenheit an.

Das hier vorgestellte moderne Konzept der hardware- und softwaretechnischen Realisierung von Produktionsprüfständen beruht auf langjährigen Erfahrungen der ADG Automatisierung Dresden GmbH beim Prüfstandsbau sowie der Einbeziehung sehr detailliert vorgetragener Kundenvorstellungen, die aus deren Erfahrungen beim Betrieb automatisierter Prüfanlagen stammen.

Anforderungen

Die wichtigsten Anforderungen an die Steuerkonzeption lassen sich in fünf Kategorien darstellen:

1. Nutzeranforderungen

Trotz ständig steigender Komplexität der Prüfaufgaben sollen die Prüfstände leicht bedienbar und der notwendige Anlernaufwand so gering wie möglich sein. Einzelnen Nutzerklassen (z. B. Prüfer, Einrichter, Administrator) sollten unterschiedliche Privilegien bei der Nutzung des Prüfstandes eingeräumt werden. Diese Privilegien beziehen sich auf den Zugang zu einzelnen Funktionskomplexen der Steuerungssoftware, wie z. B. Teileprüfung, Inbetriebnahme, Wartung und Kalibrierung.

2. Prüftechnologische Anforderungen

Es wird gefordert, daß ein großes Spektrum unterschiedlicher Prüflingstypen mit ein und demselben Prüfstand geprüft werden kann. Das erfordert spezielle konstruktive Maßnahmen an den Prüfständen sowie die Möglichkeit, unterschiedliche Prüfprogramme mit ggf. variabler Parametrierung zu fahren. Nicht zu vergessen sind mögliche Testläufe mit entsprechenden Referenzgeräten oder Prüflingsdummies.

3. Prozeßtechnische Anforderungen

Einfluß auf die Steuerkonzeption haben vor allem die geforderte hohe Meßwerterfassungs- und verarbeitungsgeschwindigkeit (z.B. 10 ms Tastzeit) sowie Umsetzraten von $< 100 \mu\text{s}$ für eine gesamte Schar analoger Meßwerte. Besondere Maßnahmen zur Qualitätsbewertung können es erforderlich machen, den gesamten Prüfzyklus mit der gewählten Aufzeichnungsgeschwindigkeit zu protokollieren. Bei einer Prüfdauer von 15 min und 16 analogen Meßkanälen ist dann z. B. eine Datenmenge von 5 bis 10 MByte zu speichern.

4. Anforderungen der Datenverarbeitung

Die zu bewältigenden DV-Aufgaben haben sich in den letzten Jahren vervielfacht und stellen, wenn man dem Stand der Technik entsprechende Konzepte realisieren will, einen Hauptanteil der Forderungen auf:

- Kennzeichnung jeder einzelnen Prüfung mittels Seriennummer oder laufender Nummer, so daß ein Protokoll auch nach Jahren noch einem Prüfling zugeordnet werden kann.
- Datensicherung aller Prüfergebnisse im Sinne der ISO 9000
- Die Protokollierung der einzelnen Prüfungsabläufe graphisch und textuell sowohl online am Display des Prüfstands als auch offline im Büro des Prüftechnologen
- Statistische Auswertung der gesammelten Daten.

5. Anforderungen aus dem Entwicklungsprozeß

Die effektive und kostengünstige Entwicklung eines komplexen Prüfstandes wird durch rechtzeitige und eindeutige Definition von Hard- und Software-Schnittstellen während der Planungsphase begünstigt. Diese Schnittstellen sollen im Normalfall während der Realisierung nicht mehr geändert werden.

Die Schaffung eines softwaretechnischen Modells des Prüfstandes kann von außerordentlichem Nutzen sein, weil dann ein Großteil der Software-Testarbeiten auch ohne einen physisch vorhandenen Prüfstand vorgenommen und dadurch die Inbetriebnahmezeiten drastisch gesenkt werden können.

Lösungsansatz

Die genannten Anforderungen sind mit einer handelsüblichen SPS nicht oder nur sehr schwer, und dann kostenaufwendig zu erfüllen. Sowohl die Größe des Datenspeichers zur Online-Protokollierung der Signale der Prozeßperipherie als auch die Realisierung der hohen Meßwerterfassungsraten und die Möglichkeiten der einfachen Parametrierung von Prüfprogrammen stehen in einer SPS einer akzeptablen Größenordnung nicht zur Verfügung. Aus diesen Gründen wurde der Einsatz eines PC/IPC in Erwägung gezogen, bei dem alle obigen Anforderungen erfüllbar erscheinen.

Die Verwendung von am Markt verfügbaren Lösungen von Soft-SPSen schied nach genauerer Untersuchung aus, da hier entweder die Zeitforderungen nicht erfüllbar sind (Windows 95, 98) oder bei Lösungen unter Windows NT proprietäre Lösungen für die Treiber der einzelnen Eingabe-/Ausgabekarten erzeugt werden müßten. Diese E/A-Treiber standen bzw. stehen nicht im gewünschten Maße zur Verfügung und es ist davon auszugehen, daß bei neuen Problemstellungen weitere Prozeß-E/A-Karten dem bestehenden Lösungskonzept hinzugefügt werden müssen, für die ebenfalls keine Treiber verfügbar sein werden.

Die erfolgreiche Realisierung wurde mit einem Doppel-PC-System (räumlich getrennt oder integriert in einem Gehäuse angeordnet) erreicht. Das praktische Ergebnis bestätigt dieses aus einem Steuerungs-PC (**Industrie-PC**) und einem "normalen" **Visualisierungs-PC** bestehende Systemkonzept. Der *IPC* mit einem Echtzeit-Multitasking-Betriebssystem übernimmt die Interaktion mit dem Prüfprozeß. Die Dynamik dieser Interaktion kann über die gewählte Tastzeit beeinflusst werden. Alle Bedienhandlungen am Prüfstand erfolgen unter Kontrolle des *IPC*, so daß fehlerhafte Bedienhandlungen überwacht und ausgeschlossen werden können. Lediglich die sicherheitsrelevanten Schaltungen (z. B. Not-Aus) sind hardwaremäßig ausgeführt, so daß auch ein sicherheitsgerechtes Verhalten bei Stromausfall gewährleistet ist. Auf dem *IPC* erfolgt während einer Prüfung die zeitkritische Verarbeitung der Prozeßsignale, gegebenenfalls auch die Datensicherung in einem Umlaufspeicher. Die Größe dieses Umlaufspeichers ist nur durch die zur Verfügung stehenden RAM-Speicher begrenzt, eine für eine SPS-Lösung unerfüllbare Speichergröße!

Der *VPC* übernimmt die Interaktion mit dem Anwender (Prüfer, Einrichter) für die Funktionen der Auftragsverwaltung, der Festlegung der Visualisierung des Prüfablaufes und der Kalibrierung und Inbetriebnahme (auch Einfahren von Programmen).

Während der Prüfung werden dem Prüfer alle wesentlichen Prozeßinformationen kompakt dargestellt (siehe Abb. 1). Die Informationen zum Prüfungsfortschritt können sowohl textuell als auch graphisch angezeigt werden. Die Gestaltung der Bedienmenüs erfolgt unter dem Aspekt der einfachen Bedienbarkeit, wobei davon auszugehen ist, daß das Bedienpersonal in der Produktion mit der Betreuung unterschiedlicher Prüfstände von verschiedenen Herstellern befaßt ist und ohne aufwendige Schulungsmaßnahmen in kürzester Zeit den Prüfstand bedienen und Änderungen am Prüfablauf (am Prüfprogramm) vornehmen soll.

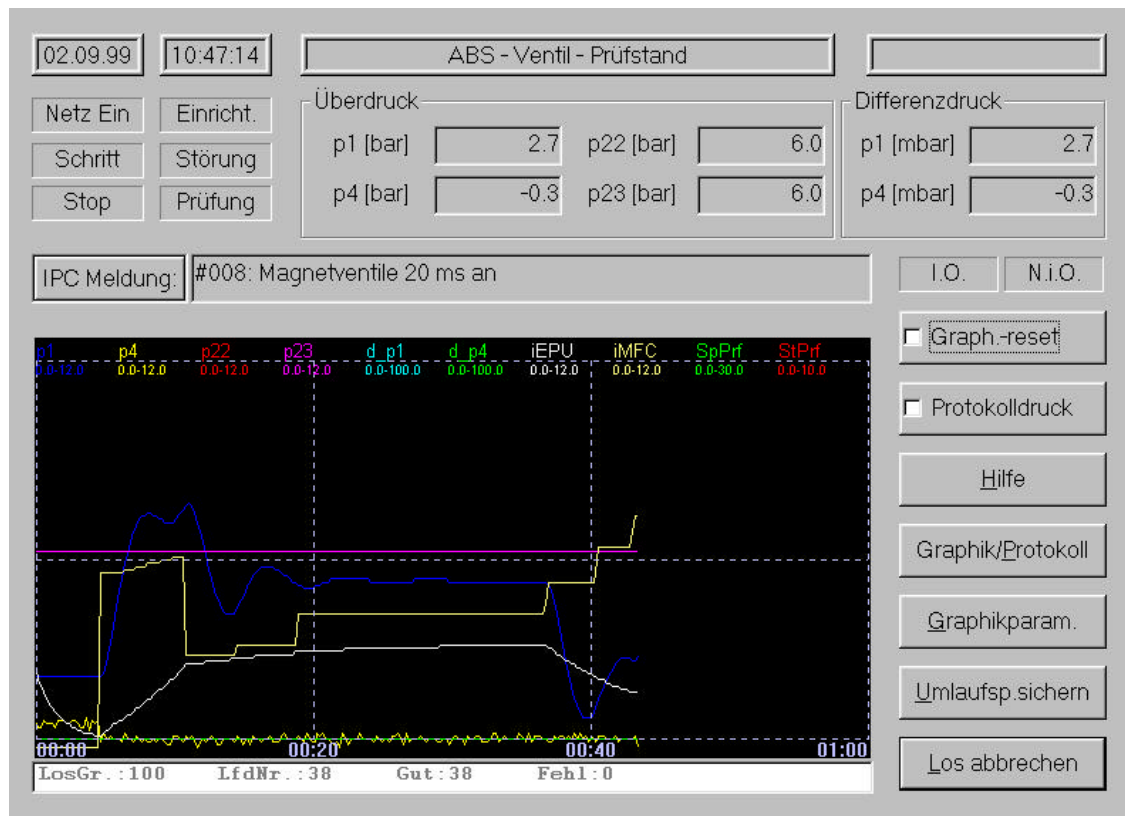


Abb. 1 Bildschirmdarstellung während einer Prüfung

Für die Implementierung der Prüfpläne ist zu beachten, daß die Prüftechnologen keine Programmierer im Sinne der Software-Entwicklung sein können und wollen. Obwohl standardisierte SPS-Programmiersprachen (DIN EN 61131-3) den Lernaufwand erheblich senken, kommt die Erstellung von Prüfprogrammen durch den Technologen in einer Fachsprache nicht in Betracht, da neben den Programmierfertigkeiten auch SPS- bzw. systeminterne Verarbeitungsmerkmale beachtet werden müssen. Die Lösung dieses Problems wurde in einem Prüfplankonzept gefunden, bei dem eine Prüfanweisungsliste durch die Aneinanderreihung vorgefertigter Funktionsblöcke, die lediglich vom Prüftechnologen entsprechend der Prüfvorschrift parametrisiert werden müssen, generiert wird. Diese Prüfanweisungsliste wird im Steuerungs-PC (*IPC*) schrittweise abgearbeitet.

Umsetzung

Das Steuerprogramm im *IPC* wurde mittels DIN EN 61131-3 im Strukturierten-Text programmiert. Es besteht aus einer Zustandsmaschine, die für die einzelnen Arbeitsmodi (Prüfen, Kalibrierung, Monitoring,...) je einen Zustand bereitstellt. Durch externe Ereignisse (z. B. Drücken der Starttaste zum Prüfungsstart) wird der entsprechende Zustand eingenommen, sofern keine Bedingungen vorliegen, die diesen Zustand verbieten.

Im Zustand *Prüfen* wird die Liste der Prüfanweisungen, die im Prüfplan implementiert ist, interpretativ abgearbeitet. Da die Zustandsmaschine durch das Betriebssystem des *IPC* zeitzyklisch aktiviert wird, erfolgt die Bearbeitung der Funktionen in einem festgelegten Zeitraster (z. B. aller 10 ms). Sobald eine Funktion vollständig bearbeitet wurde, wird durch das Steuerungsprogramm eine Ergebnismeldung erzeugt. Diese Meldung kann dem *VPC* mitgeteilt werden.

Der Zustand *Prüfen* wird mit dem Ende der Prüfung verlassen. Im Normalfall bedeutet das, daß der Zustand *Monitoring* eingenommen wird. Im *Monitoring* nimmt der *IPC* keinen aktiven Einfluß auf den Prüfprozeß, sondern wartet auf Bedienhandlungen am Prüfstand und andere externe Meldungen und reicht sie an den *VPC* zur Bearbeitung weiter.

Völlig getrennt von der Steuerungssoftware des Prüfstandes wird mit Hilfe eines selbstentwickelten Prüfplanneditors der Prüfplan aus der vorgegebenen technologischen Prüfvorschrift erstellt. Das kann

an einem beliebigen PC ohne Hardwarekopplung an den Prüfstand erfolgen. Der Editor (siehe Abb. 2) enthält Bausteine für

- Einstell- und Schaltfunktionen am Prüfstand
- komplexe Signalverarbeitung, wie Toleranz- und Sollwertprüfung, Polygonzüge testen oder Analyse von Meßwert-Historien
- Programm-Steuerfunktionen, wie Verzweigungen, Schleifen oder Sprünge.

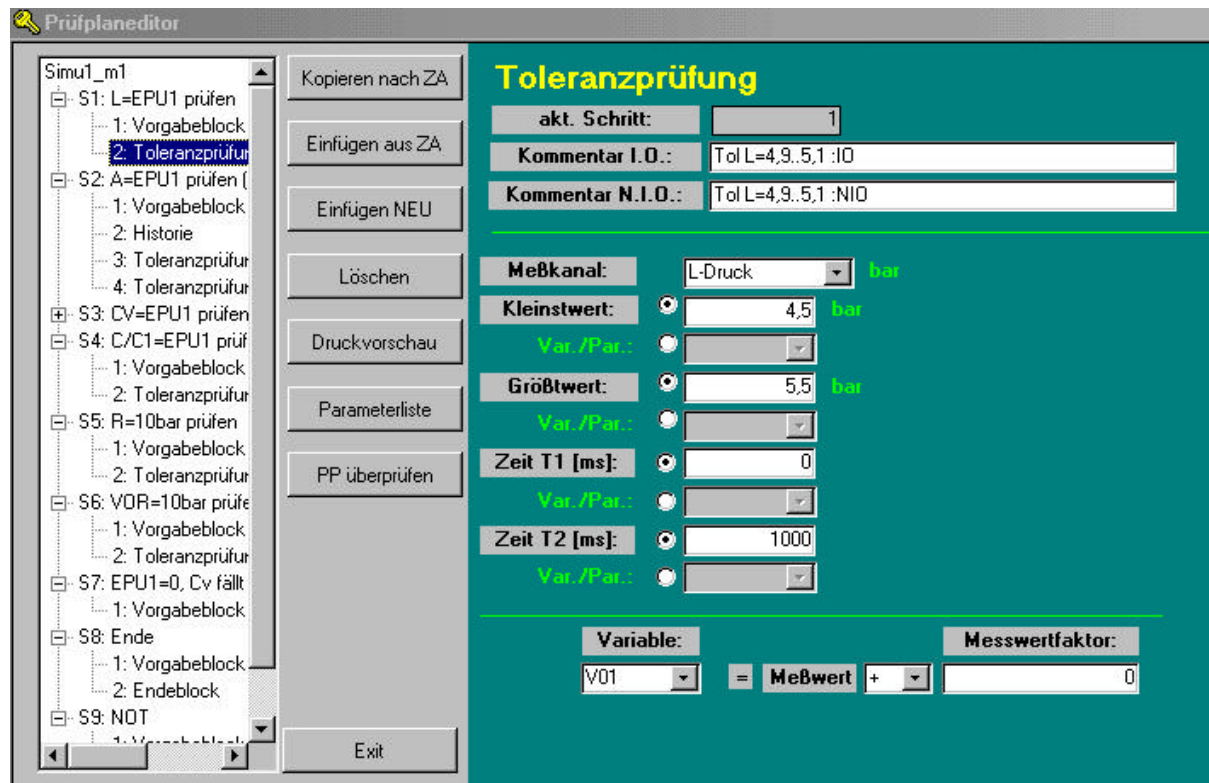


Abb. 2 Bildschirmdarstellung des Funktionsblocks Toleranzprüfung im Prüfplaneditor

Als Argumente für die Funktionen dienen Prozesssignale, Konstanten oder Variablen. Die Konstanten können in einer Parameterliste gespeichert werden, so daß mittels verschiedener Parameterlisten die Prüfung für unterschiedliche Prüflinge oder Prüfbedingungen variiert werden kann. Der Editor enthält zahlreiche Funktionen, die das Kopieren, Drucken usw. von Prüfplänen oder Prüfplanteilen erlauben. Vor dem Abspeichern eines Prüfplans erfolgt ein logischer Test auf korrekte Anwendung und Parametrierung der Funktionsblöcke.

Die klare Trennung des Steuerprogrammes vom Prüfplan hat viele Vorteile, die den scheinbaren Nachteil einer komplizierten Systemstruktur (Abb. 3) aufwiegen:

1. Alle sicherheitstechnischen Aufgaben werden durch das Steuerungsprogramm ausgeführt. Der Technologe kann keine gefährlichen Zustände erzeugen.
2. Technologisch bedingte Änderungen der Prüfvorschrift können durch Personal ohne Programmierkenntnisse in den Prüfplan eingearbeitet und ebenso neue Prüfpläne in den Steuerrechner eingegeben werden.
3. Prüfpläne können auf einem beliebigen PC ohne Kopplung an den Prüfstand auf Sinnfälligkeit geprüft werden.

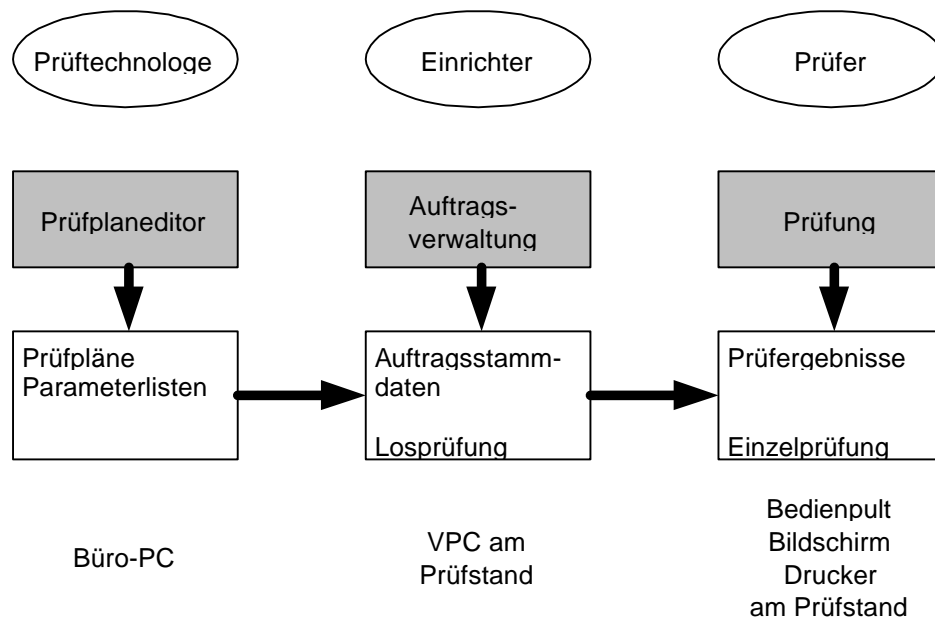


Abb. 3 Aufteilung der Funktionskomplexe

Zusätzlich zu dem beschriebenen Funktionsumfang wurde ein Testmodus in die Steuersoftware auf dem VPC integriert. Mit dieser, nur über ein spezielles Paßwort aktivierbaren Debug-Funktion kann der Prüfablauf beliebig unterbrochen und jede Prüfstandsfunktion einzeln und ohne die sonst einprogrammierten Verriegelungen (z. B. Start nur bei geschlossenen Prüfraumtüren möglich) abgerufen werden. Das erwies sich als eine optimale Unterstützung bei Inbetriebnahme, Fehlersuche und Funktionskontrolle am Prüfstand.

Abgerundet wird das dargelegte Prüfstandskonzept durch einen intelligenten Abfahrmechanismus. Zusammen mit einer USV wurde erreicht, daß der Prüfer den Prüfstand nach einer Losprüfung mit dem Hauptschalter ohne Datenverlust ausschalten kann.

Datenverarbeitung: Visualisierung, Protokollierung, Archivierung

Ein modulares Software-Konzept für den VPC, natürlich unter Windows, enthält alle wesentlichen Funktionen und ermöglicht außerdem die problemlose Anpassung einzelner Komponenten bei Modifikation der Aufgabenstellung.

Die wesentlichen Leistungsmerkmale sollen deshalb kurz charakterisiert werden:

- Dem Stand der Technik entsprechend werden Windows-Betriebssysteme (95, 98 oder NT) eingesetzt. Speziell wird Windows NT auf Grund seiner besseren Administrationsmöglichkeiten sowie der höheren Sicherheit des Gesamtsystems der Vorrang gegeben.
- Die Kommunikation zwischen IPC und VPC erfolgt über ein getrenntes Ethernet. Der VPC verfügt über zwei Schnittstellenkarten, wobei eine für die Ankopplung an ein zentrales Netz der Fertigungsstätte, die andere nur für die Kommunikation mit dem IPC genutzt wird. Dadurch wird der Kommunikationsumfang auf diesem Netz begrenzt, die Kollisionen von Netzzugriffen verhindert und die Betriebssicherheit wesentlich erhöht. Weitere IPC's sowie ein Inbetriebnahme-PC können an dieses Teilnetz angeschlossen werden. Bei kurzen zu überbrückenden Distanzen kommt Koax-Kabel zum Einsatz (innerhalb eines Schaltschranks). Ansonsten sollte Twisted-Pair-Verkabelung eingesetzt werden.
- Die eingesetzte Netzverbindung zwischen IPC und VPC ermöglicht die Online-Visualisierung im Zeitraster von mindestens 100 ms. Die Ergebnisse werden textuell dargestellt, jede abgearbeitete Funktion generiert eine Ausgabezeile. Zur Kontrolle der Signalverläufe kann alternativ eine graphische Anzeige aktiviert werden. Dies ermöglicht eine schnelle visuelle Erfassung aller wesentlichen Daten und gegebenenfalls eine direkte Einflußnahme durch den Prüfer.

- Eine leistungsfähige und durch den Administrator oder Einrichter parametrierbare Datensicherung ist Bestandteil der VPC-Software. Die Sicherung der Prüfergebnisse ist im Sinne der ISO 9000 zwingend notwendig. Dafür werden Möglichkeiten der automatischen Datenarchivierung nach festgelegten Zeiträumen oder Losgrößen, aber auch der manuell vom Bedienpersonal ausgelösten Datenarchivierung angeboten. Die Daten auf dem VPC werden erst nach erfolgreicher Datenübernahme auf einen Server oder ein anderes externes Speichermedium gelöscht.
- Die Betreiber der Prüfstände sind im allgemeinen dazu verpflichtet, ihren Kunden mit dem geprüften Gerät ein entsprechendes Prüfprotokoll zu liefern. In einigen Fällen ist eine schriftliche Protokollierung nur im Fehlerfall gewünscht oder es sollen auf dem Protokoll nur bestimmte Funktionen und deren Ergebnisse dargestellt werden. Für alle diese Fälle wurde ein Protokollmechanismus implementiert, der weitestgehend frei parametrierbar ist. Unterstützt werden gegenwärtig folgende Protokolle:
 - a) Startprotokoll - Enthält Angaben zum Los (Teillos), Prüfer, Prüfplan, Anzahl usw. Ausgabe bei Beginn eines Prüfloses
 - b) Endeprotokoll (siehe Abb. 4) - Faßt als Kurzprotokoll die Ergebnisse der Losprüfung zusammen. Enthält Angaben zur Anzahl guter und schlechter Prüflinge, zu den aufgetretenen Fehlern und den Grund des Endes der Losprüfung.
 - c) Einzelprotokoll Funktions- - Textuelle Kopie der am Bildschirm des VPC aufgelaufenen ergebnisse und Meldungen für einen Prüfling.
 - d) Signalprotokoll - Grafische Darstellung ausgewählter Prozeßsignale während bestimmter Funktionsprüfungen.
 - e) Fehlerprotokoll Prüflings - Detaillierte Mitteilung über alle fehlerhaften Funktionen eines Prüflings
 - f) Statistikprotokoll - statistische Auswertung der Ergebnisse eines auswählbaren Prüfschrittes über alle Prüflinge eines Prüfloses oder Teilloses, aus dem die Streuung der Prüfergebnisse hervorgeht.

ADG Automatisierung Dresden, Sachsen		Kurzprotokoll		02.09.99 - 11:34:33 Seite: 1	
Startdaten:					
Auftragsnummer:	Test2				
Losgröße:	100				
Prüfprogrammname:	br9231_1_PP				
Parameterliste:	br9231_1_PL				
Typbezeichnung:	BR9231				
Einrichter:	Maier				
Sachnummer:	I130522				
Bemerkung:	(Kopie)				
Abschlußmeldung:					
Prüfbeginn:	31.08.98 - 09:12:12				
Prüfende:	02.09.98 - 08:31:20				
Prüfdauer (Los):	47:19				
Beendet wegen:					
Prüfdurchläufe:	59				
GUT-Befund:	38				
FEHL-Befund:	21				
Abbrüche manuell:	0 (0-mal NOT-AUS)				
Fehlerrate:	35,6 % (bezogen auf Prüfdurchläufe)				
Fehlbefundauswertung:					
SNr.	BINr.	FKT	Kommentar	Anzahl	v.H.
50	2	ARIT	Differenz nicht i.O.	1	1,8
51	2	TLZ	p22 nicht i.O.	1	1,8
54	2	ARIT	Differenz n.i.O.	1	1,8
72	2	TLZ	p23 n.i.O.	5	9,1
100	3	TLZ	p1 n.i.O.	2	4,1
100	5	TLZ	Meßbereich-Überschreitung dp1	2	4,1

Abb. 4 Muster eines Einzelprotokolls

Zusammenfassung

- Eine Doppel-PC-Konfiguration unter einem Realtime- / Windows-Betriebssystem erfüllt alle Anforderungen einer leistungsfähigen Prüfstandsautomatisierung und ist einer SPS einer vergleichbarer Kostenkategorie weit überlegen.
- Die klare Definition von Hardware- und Software-Schnittstellen von Bearbeitungsbeginn an ist eine Voraussetzung für effektive Entwicklung.
- Ein virtuelles Prozeßmodell, auch wenn es nicht alle Einzelheiten der Prüfbedingungen und des realen Prüflings berücksichtigte, kann aufwendige Inbetriebnahmen beim Kunden auf ein Minimum reduzieren. In Verbindung mit einem realen Bedienpult können außerdem in einem sehr frühen Bearbeitungsstadium Feinabstimmungen zur Softwaregestaltung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer getroffen und Prüfabläufe optimiert werden.
- Der Einsatz eines von der Steuersoftware klar abgesetzten Prüfplanneditors ermöglicht die Implementierung von Prüfplänen durch Personal ohne spezielle Programmierkenntnisse.
- Zur Erfüllung der Forderungen der Qualitätssicherung im Sinne der ISO 9000 kann eine leistungsfähige Protokollierung und Archivierung der Prüfergebnisse realisiert werden.

Das gesamte Konzept hat sich in der Praxis mehrfach bewährt und ist selbst bei der Umrüstung vorhandener Prüfstände von einer veralteten Steuerungstechnik auf moderne leistungsfähige Hardware wegen der hohen Variabilität der Funktionsbausteine effektiv einsetzbar.