

# ettz

Elektrotechnik + Automation

Ausgabe 5/2009



## Qualitätsgerechte Stromversorgung von Schweißanlagen

Dietrich Stade

Peter Ulrich

Bruno Suck

# Qualitätsgerechte Stromversorgung von Schweißanlagen

Dietrich Stade • Peter Ulrich • Bruno Suck

**Im Fertigungsprozess des Automobilbaus werden auf vielfältige Art und Weise elektrische Schweißanlagen eingesetzt. Eine gleichbleibend gute Qualität der mit ihnen hergestellten Schweißverbindungen setzt eine ausreichende Qualität der Versorgungsspannung voraus. Dieser Sachverhalt hat die Daimler AG schon frühzeitig veranlasst, in das konzerninterne Qualitätssicherungssystem neben den Einflussfaktoren, die von Menschen, Maschinen und Material bestimmt werden, auch die Qualität des „Mediums“ elektrische Stromversorgung als immanenten Bestandteil einzubeziehen. Am Beispiel einer durch Umbaumaßnahmen erforderlich gewordenen neuen Stromversorgung einer großen Gruppe von leistungsstarken Pressschweißmaschinen wird gezeigt, auf welche Weise hohe Produktivität und gesicherte Qualität der Produktion in die Planung und Realisierung des Schweißnetzes einbezogen wurden.**

träglichkeitsanforderung nach Klasse 2 DIN EN 61000-2-4 (VDE 0839-2-4):2003-05 [2] zu betreiben. Da von einem Schweißnetz keine Beleuchtungsanlagen versorgt werden, sind Flickererscheinungen nur im vorgeordneten Mittelspannungsnetz zu bewerten.

Anders sieht es mit der Beurteilung der durch die PSM bedingten schnellen Spannungsänderungen aus. Bekanntlich muss für eine derartige Schweißmaschine mit einer max. Laständerung von  $\Delta S_A = (3 \dots 5) S_{50\%ED}$  [1] gerechnet werden. Werden viele unregelmäßige PSM von einem Schweißnetz versorgt, ist bei Pulsdauern bis 600 ms darüber hinaus noch von der Überlagerung der Schweißpulse mehrerer PSM auszugehen. Durch den Schweißbetrieb

## Ausgangssituation und Zielstellung

Ein typischer Fertigungsprozess im Automobilbau ist das elektrische Schweißen. Die vielfältigen Schweißverbindungen eines Automobils erfordern neben vollautomatisierten Schweißlinien den umfangreichen Einsatz elektrischer Pressschweißmaschinen (PSM, Bild 1), die mit unterschiedlicher Leistung und in großer Anzahl von speziellen Stromversorgungsnetzen (Schweißnetzen) versorgt und mit denen Punktschweißverbindungen von Stahlblechteilen hergestellt werden.

Bei der Planung des Schweißnetzes ist es unerlässlich, den Netzzrückwirkungen



**Bild 1.** Elektrische Pressschweißmaschine im Einsatz in der Automobilindustrie

der PSM größte Aufmerksamkeit zu schenken. Vielfältige Voruntersuchungen an Referenzanlagen [1] hatten ergeben, dass es bei einer Kurzschlussleistung  $S_k$  eines 525-V-Schweißnetzes von ca. 100 MVA aus der Sicht der Verzerrung und Unsymmetrie der Versorgungsspannung möglich ist, unregelmäßige Gleichstrom-PSM bis zu einer max. Maschinenbemessungsleistung von etwa  $S_{50\%ED} \approx 1,8$  MVA bei 50 % Einschaltdauer und Einhaltung der Ver-

kommt es somit zu Abweichungen von der festgelegten (vereinbarten) Versorgungsspannung  $U_C$  des Schweißnetzes. Systematische und über einen langen Zeitraum vorgenommene Überprüfungen der Qualität von Schweißverbindungen zusammen mit der Daimler AG [3, 4] haben zu dem Ergebnis geführt, dass bis zu einer Absenkung der Versorgungsspannung unter einen für das Schweißnetz typischen Grenzwert nicht mit Qualitäts-

Prof. Dr.-Ing. habil. **Dietrich Stade** (70), VDE, ist Consulting Engineer der H. Kleinknecht GmbH & Co. KG in Ilmenau.

E-Mail: dietrich.stade@kleinknecht.de



Dipl.-Ing. **Peter Ulrich** (44) ist Project Manager der H. Kleinknecht GmbH & Co. KG in Ilmenau.

E-Mail: peter.ulrich@kleinknecht.de

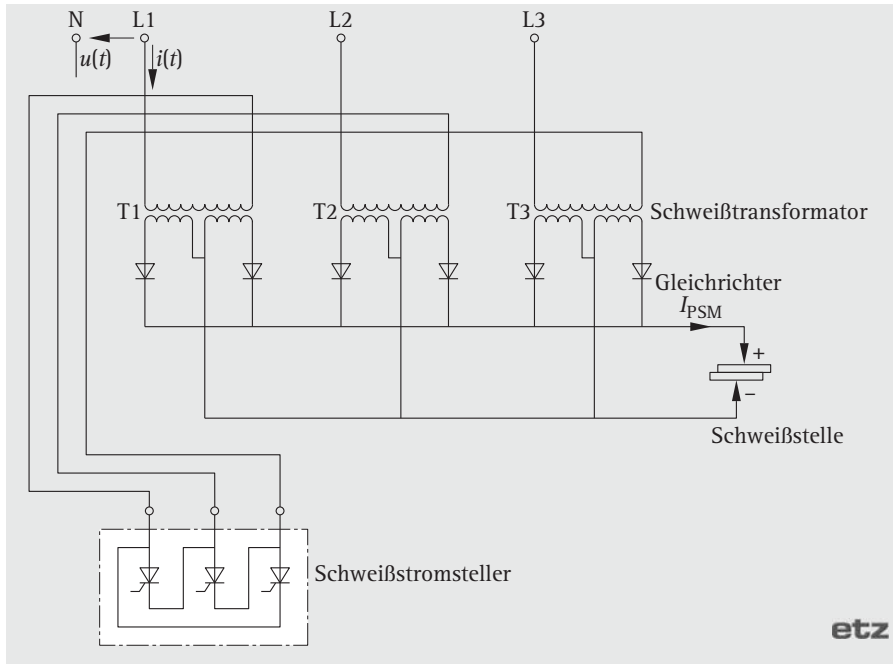


Dipl.-Ing. **Bruno Suck** (38) ist Projektleiter technische Gebäudeausrüstung bei der Daimler AG in Sindelfingen.

E-Mail: bruno.suck@daimler.com





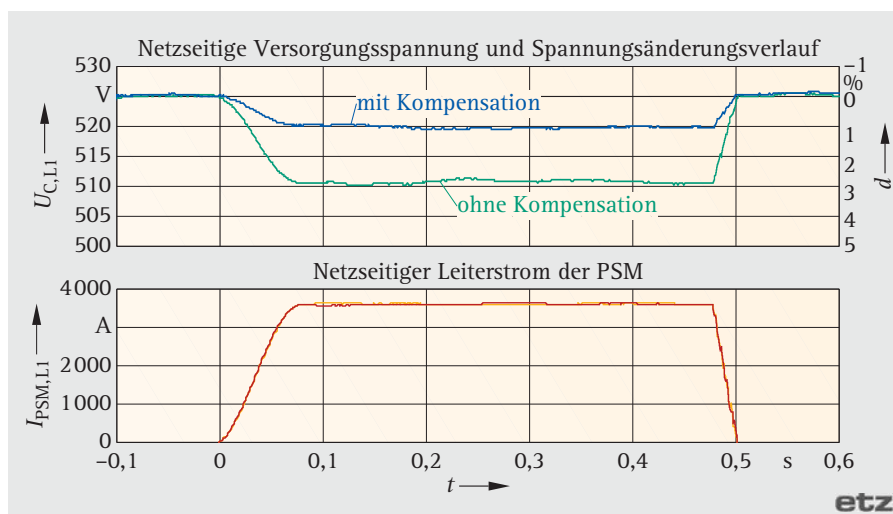


**Bild 2.** Häufig verwendete Grundschialtung der Stromversorgung einer PSM

mängeln bei den Schweißverbindungen zu rechnen ist, da durch den Schweißstromimpuls der für die Güte der Schweißverbindung erforderliche Energieeintrag (Schweißleistung während der Pulsdauer) erreicht wird. Maßnahmen zur Begrenzung der relativen Spannungsänderung (-absenkung) sind unerlässlich. Auf diese Weise wird es möglich, das „Medium“ Elektroenergie als Ursache für Qualitätsmängel beim Schweißen auszuschließen. Selbstverständlich wird hierbei vorausgesetzt, dass alle anderen Einflüsse, die auf die Qualität der Schweißung Einfluss haben, wie Anpressdruck oder Abbrand der Schweißelektroden in den zulässigen Grenzen liegen.

Im vorliegenden Fall ist für den gewählten Standort von drei großen Pressschweißgruppen mit ca. 45 PSM der Daimler AG und max. Einzelleistungen der PSM von 1 MVA bis 5 MVA sowie der verfügbaren Infrastruktur ein neues einheitliches Stromversorgungs- und Automatisierungskonzept mit den Zielen erarbeitet worden,

- die Leistungsfähigkeit der Schweißnetze mithilfe eines dynamischen Blindstromkompensators wesentlich zu erhöhen,
- durch ein Leitsystem automatisiert die Schweißfreigabe jeder PSM nur dann zu erteilen, wenn zulässige Qualitätsparameter der Versorgungsspannung



**Bild 3.** Effektivwertverlauf des netzseitigen Stroms und der Versorgungsspannung einer PSM während eines Schweißpulses (10-ms-rms-Wert) im Leiter 1 mit und ohne Kompensation

des Schweißnetzes, die ein übergeordnetes EEQ-System zusätzlich überwach, nicht verletzt werden und

- das durch Bewertung der Wirk- und Blindleistungsaufnahme jeder PSM bei allen mit ihr ausgeführten Schweißungen max. Produktivität der Schweißanlagen bei kontrollierter Güte aller Schweißungen sicherstellt.

### PSM verursachen dynamische Laständerungen $\Delta S_A$ im Speisernetz

Die Mehrzahl der im untersuchten Schweißnetz betriebenen PSM sind Gleichstromschweißmaschinen. Der zum Schweißen benötigte Gleichstrom wird von einem sechspulsigen Gleichrichter, der über einen Schweißtransformator an das 525-V-Drehstromnetz (Schweißnetz) angeschlossen ist, erzeugt. Zur Einstellung des Schweißstroms  $I_{PSM}$  dient ein dreiphasiger Thyristorsteller (Bild 2). Bei einigen wenigen PSM wird der Schweißgleichstrom über einem Frequenzumrichter mit Spannungszwischenkreis und ausgangsseitig angeschlossenem Mittelfrequenz-Schweißtransformator mit Gleichrichter erzeugt.

Einen typischen Effektivwertverlauf des netzseitigen Leiterstroms  $I_{PSM,L1}$  einer PSM, der auf der Basis von Momentanwerten als 10-ms-rms-Wert (nicht überlappend) gebildet wurde, zeigt Bild 3.

Nach [5] ist für die Größe der Laständerung, die von einer PSM zu erwarten ist, näherungsweise davon auszugehen, dass die Scheinleistungsänderung der PSM

$$\Delta S_A = (3 \dots 5) S_{50\%ED} \quad \text{oder} \quad (1)$$

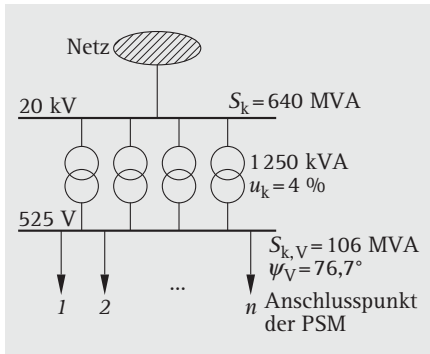
$$\Delta S_A = 0,8 \cdot S_{k,M} \quad (2)$$

beträgt. Aus eigenen Messungen wurde ein Verschiebungsfaktor der Grundschwingung, der die Leistungsverhältnisse auf der Netzseite einer Schweißmaschine beschreibt, von  $\cos \varphi_1 = 0,3 \dots 0,7$  (im Mittel  $\cos \varphi_1 \approx 0,4$ ) ermittelt. Die Schweißpulse haben eine Dauer von  $\Delta t_A = 0,04 \text{ s} \dots 0,6 \text{ s}$ . Bei sog. Kaskadenschweißungen werden mehrere Schweißpulse hintereinander ausgeführt.

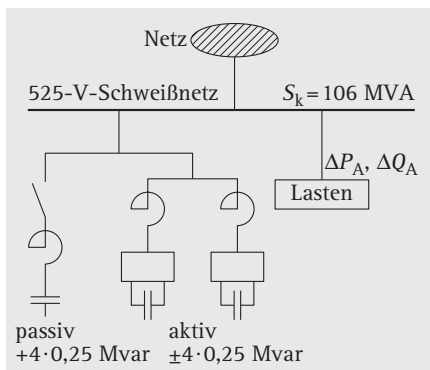
Die Bemessungsleistungen der PSM liegen in einem Bereich von  $S_{50\%ED} = 600 \text{ kVA} \dots 1800 \text{ kVA}$ .

### Schweißnetz – ein leistungsstarkes, mehrfachgespeistes Niederspannungsnetz

Den grundsätzlichen Aufbau des Schweißnetzes zeigt Bild 4. Die Kurzschlussleistung des vorgeordneten 20-kV-Netzes beträgt etwa 640 MVA. Unter Berücksichtigung der Impedanzen der Einspeisetransformatoren und der Leitungsverbindungen ergibt sich an den Anschlusspunkten (Verknüpfungspunkte)



**Bild 4.** Stark vereinfachtes Übersichts-schaltbild des 525-V-Schweißnetzes einer Gruppe von PSM



**Bild 5.** Grundsätzlicher Schaltungsaufbau des dynamischen Kompensators

der PSM eine mittlere Kurzschlussleistung von  $S_{k,V} = 106,2$  MVA und der Netzimpedanzwinkel  $\psi_V$  beträgt  $76,7^\circ$ . Die Netzverhältnisse am Anschlusspunkt der PSM werden damit durch die bezogene Netzimpedanz  $z_V = 0,94$  %/MVA, Netzreaktanzen  $x_V = 0,92$  %/MVA und Netzresistanzen  $r_V = 0,22$  %/MVA charakterisiert.

### Spannungsänderungen auf 4 % begrenzen

Aus einer systematischen Analyse des Schweißprozesses und der daraus resultierenden Laständerungen ( $\Delta P_A, \Delta Q_A$ ) an einer Referenzanlage eines analogen Fertigungsprozesses war bekannt, dass die angestrebte Produktivität der Anlage mit einer Wirklaständerung  $\Delta P_A$  von  $\Delta P_{A,max} = 2,6$  MW durch zwei oder mehrere PSM, die zeitgleich schweißen, zu rechnen ist. Für diesen Belastungsfall ist im vorliegenden Schweißnetz aus Gründen der Qualitätssicherung eine zulässige Spannungsänderung von  $d_{zul} \leq 4$  % einzuhalten.

Die prozentuale Spannungsänderung  $d$  kann für die vorliegenden Netzverhältnisse und Schweißstrompulse der PSM näherungsweise mit ausreichender Genauigkeit berechnet werden:  
 $d = \Delta P_A \cdot r_V + \Delta Q_A \cdot x_V$ , mit (3)

$d$  Spannungsänderung in Prozent;  
 $\Delta P_A; \Delta Q_A$  Wirk-/Blindleistungsänderung in MVA.

Mit  $r_V/x_V = \cot \psi_V$  und  $\Delta Q_A/\Delta P_A = \tan \varphi_A$  ergibt sich bei einem mittleren  $\cos \varphi_A = 0,4$  aus Gl. (3) eine max. zulässige Wirklaständerung:

$$\Delta P_{A,max,zul} \leq \frac{d_{zul}}{x_V (\cot \psi_V + \tan \varphi_A)} = \frac{4}{2,3} = 1,74 \text{ MVA.} \quad (4)$$

Zur Sicherstellung der Produktivität des Schweißprozesses ist aber das zeitgleiche Schweißen mehrerer PSM unerlässlich, was zwangsläufig ein  $\Delta P_{max} > 1,74$  MVA erfordert.

Aus  $\tan \varphi_A \cdot \tan \psi_V \geq 5 \gg 1$  ist aber auch ersichtlich, dass zeitgleich mit den Schweißpulsen die dem Versorgungsnetz zu entnehmende Blindleistung durch eine dynamische Kompensationsanlage, die kapazitive Blindleistung unverzüglich bereitstellen kann, unerlässlich ist. Aus Gl. (3) folgt für die erforderliche kapazitive Leistung des Kompensators:

$$\Delta Q_{C,max} = \Delta P_{A,max} (\cot \psi_V + \tan \varphi_A) - \frac{d_{zul}}{x_V} \quad (5)$$

Unter Beachtung der aus der Schweißtechnologie resultierenden Vorgaben ( $\Delta P_{A,max} = 2,6$  MW und  $d_{zul} = 4$  %) ist damit eine max. Kompensatorleistung von  $\Delta Q_{C,max} = 2$  Mvar erforderlich, die prozessabhängig zwischen null und dem Maximalwert bereitzustellen ist.

### Dynamischer Kompensator begrenzt Netzblindleistungsbezug

Das Konzept des Kompensators wurde bereits in [6] vorgestellt. Den Schaltungsaufbau zeigt Bild 5. Die erforderliche max. Leistung des Kompensators wird durch eine modular aufgebaute Kompensationsanlage realisiert. Ein Modul besteht aus einer schaltbaren, passiven und verdrosselten Kondensatoreinheit (Verdrosselungsgrad  $p = 5,6$  %) von 250 kvar und einer aktiven Kompensatoreinheit hoher Dynamik auf der Basis selbstgeführter IGBT-Stromrichter, die eine Leistung von  $\pm 250$  kvar (kap./ind.) aufweisen. Im vorliegenden Fall wird die max. benötigte kapazitive Blindleistung von 2 Mvar durch Parallelkaskadierung von vier Modulen erreicht. Auf diese Weise wird es möglich, kapazitive Blindleistung von 0 Mvar bis 2 Mvar dem Schweißnetz zur Verfügung zu stellen. Das Regelungskonzept sieht vor, die dem Netz entnommene Blindleistung  $\Delta Q_N$  während

des Schweißbetriebs auf den Wert zu begrenzen, der entsprechend Gl. (3) bei max. Wirkleistungsentnahme  $\Delta P_{A,max}$  eine Überschreitung von  $d_{max} = 4$  % in der Versorgungsspannung des Schweißnetzes und bei einem mittleren  $\cos \varphi_A = 0,4$  verhindert:

$$\Delta Q_N \leq \frac{d_{max}}{x_V} - \Delta P_{A,max} \cdot \cot \psi_V = 3,9 \text{ Mvar.} \quad (6)$$

Diese Automatisierungsstrategie in Verbindung mit einer Ausregelzeit von  $\leq 40$  ms, die die Regelungsstruktur sicherstellt, führt weder zu Beginn noch am Ende eines Schweißpulses zu zusätzlichen und unerwünschten Spannungsänderungen, wie sie beispielsweise in [1] beschrieben wurden. Dadurch gelingt es, im speisenden 20-kV-Netz Langzeitflickerwerte deutlich unter  $P_{It} = 1,5$  einzuhalten, was bei Leuchtstofflampenbetrieb in den vom gleichen MS-Netz ausschließlich versorgten NS-Netzen bezüglich Leuchtdichteschwankungen völlig unproblematisch ist. Die Messaufzeichnungen (Bild 3) der Versorgungsspannung (10-ms-rms-Werte nicht überlappend) belegen diesen Sachverhalt.

### Übergeordnetes intelligentes Leitsystem steuert Freigabe der PSM

Für die Freigabe einer weiteren PSM ist aus Sicht der einzuhaltenden Versorgungsspannung davon auszugehen, dass es durch die bereits zum Schweißen freigegebenen Schweißmaschinen keine Abweichungen von der festgelegten Versorgungsspannung gibt, die größer als 4 % sind. Die Freigabe einer weiteren PSM zum Schweißen (Schweißergebnis) wird deshalb durch ein übergeordnetes Leitsystem nur dann erteilt, wenn der aktuelle Wirk- und Blindlastbedarf dieser PSM, der messtechnisch aus dem vorhergehenden Schweißvorgang ermittelt wurde, in Summe mit den Leistungen der bereits freigegebenen PSM die vom Speisernetz und Kompensator lieferbaren Wirk- und Blindleistungen ohne Verletzung des Spanningskriteriums  $d \leq 4$  % einzuhaltenen Leistungswerte nicht überschreitet. Es gilt:

$$\Delta P_{A\Sigma} \cdot r + (\Delta Q_{A\Sigma} - \Delta Q_{C,max}) \cdot x \leq 4 \%. \quad (7)$$

Eine Besonderheit stellt der sog. Einrichtbetrieb dar. Er ist erforderlich, wenn eine Schweißmaschine auf eine neue Schweißaufgabe umzustellen ist. Zu diesem Zeitpunkt ist die aktuell benötigte Wirk- und Blindleistung der PSM noch unbekannt. Die Einhaltung der Qualitätsvorgabe entsprechend Gl. (7) erfordert

deshalb, einer PSM im Einrichtbetrieb nur dann auf Anfrage eine Schweißlaubnis zu erteilen, wenn keine weitere PSM eine Schweißlaubnis hat.

Zur Berechnung des Wirk- und Blindleistungsbedarfs der PSM erfolgt die Messung der Momentanwerte der Netzspannung  $u(t)$  und des Stroms jeder PSM  $i(t)$  im L1 (siehe Bild 6). Aus diesen Messwerten werden die Wirkleistung

$$\Delta P_A^* = \frac{3}{n} \sum_{v=1}^n u_{v,L1} \cdot i_{v,L1} \quad (8)$$

aus  $n$  Momentanwerten pro Netzperiodendauer (20 ms) und die Scheinleistung  $\Delta S_A^* \approx 3 \cdot U_{L1} \cdot I_{L1}$  (9)

aus den Effektivwerten der Netzspannung  $U_{L1}$  und des Stroms einer PSM  $I_{L1}$  als

$$20\text{-ms-rms-Werte} \left( \frac{20}{n} \text{ ms überlappend} \right)$$

bestimmt. Mit ausreichender Genauigkeit kann somit die Blindleistung der PSM

$$\Delta Q_A^* \approx \sqrt{\Delta S_A^{*2} - \Delta P_A^{*2}} \quad (10)$$

bestimmt werden, da Blindleistungsanteile aus Unsymmetrie und Verzerrung, die die Scheinleistung  $\Delta S_A^*$  enthält, klein gegenüber dem Verschiebungsanteil sind.

Neben der geschilderten Grenzwertüberwachung für die Leistungen aller zeitgleich schweißenden PSM ermöglicht das Leitsystem, einzelnen PSM besondere Prioritäten (bevorzugte Freigabe zum Schweißen oder Priorisierung von Kaskadenschweißungen) zuzuordnen, um auf diese Weise die Leistungsfähigkeit des Schweißnetzes optimal zu nutzen und so-

mit die erforderliche Produktivität sicherzustellen. Ein Bedienterminal ermöglicht die erforderliche Parametrierung und Visualisierung. Darüber hinaus ist die zentrale Steuereinheit des Leitsystems in ein firmeneigenes EEQ-Mess- und -Überwachungssystem eingebunden, das u. a. in der Lage ist, Störungen im Stromversorgungsnetz zu signalisieren, die Einfluss auf die Versorgungsspannung des Schweißnetzes haben können.

## Wirk- und Blindleistungsaufnahme einer PSM liefert Kriterien für ein verbessertes Qualitätsmanagement

Die bisherigen Überlegungen haben gezeigt, dass es möglich ist, Spannungsänderungen im Schweißnetz so zu beherrschen, dass „Grenzwertverletzungen“, die zu nicht tolerierbarer minderer Qualität von Schweißverbindungen führen, auszuschließen sind.

Die systematische Auswertung einer Vielzahl von Messergebnissen, die auf der Grundlage der Gln. (8) bis (10) für unterschiedliche PSM und unterschiedliche Werkzeuge (Schweißaufgaben) gewonnen wurden, belegen, dass sich Schweißqualitätseinbußen durch den Maschineneinfluss, wie eine sich durch viele Schweißungen einstellende Veränderung des Elektrodenanpressdrucks oder die Elektrodenkappenabnutzung, mit hoher Wahrscheinlichkeit durch die Wirk- und Blindleistungsaufnahme einer PSM feststellen lassen.

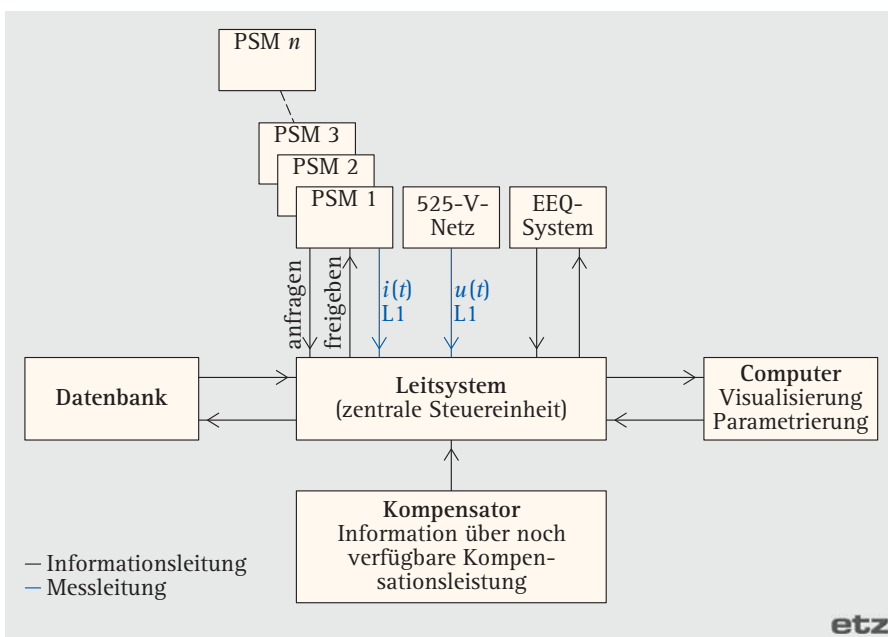
Hierzu wird die Anzahl  $z = \frac{n}{20} \cdot \Delta t_A$ , der auf der Basis von Gln. (8) und (10)

## Formelzeichen

$\cos \varphi_1$	Verschiebungsfaktor (Grundschwingung)
$d$ ( $d_{zul}$ )	Spannungsänderung (zulässig)
$i$	Strom (Momentanwert)
$I_{L1}$	Strom (Effektivwert, Leiter 1)
$I_{PSM}$	Schweißstrom
$n$	Index, Anzahl
$\rho$	Verdrosselungsgrad, Prozentwert
$P_{fl}$	Langzeit-Flickerwert
$\Delta P_A$ ( $\Delta P_A^*$ )	Wirkleistungsänderung (* Näherungswert) am Anschlusspunkt
$\Delta P_{A\Sigma}^*$	Wirkleistungsänderung zeitgleich schweißender PSM (Näherungswert)
$\Delta Q_A$ ( $\Delta Q_A^*$ )	Blindleistungsänderung (* Näherungswert) am Anschlusspunkt
$\Delta Q_{A\Sigma}^*$	Blindleistungsänderung zeitgleich schweißender PSM (Näherungswert)
$\Delta Q_N$	Netzblindleistung
$r_v$	Netzresistanz am Verknüpfungspunkt (%/MVA-Wert)
$S_{50\%ED}$	Nennleistung bei 50 % Einschaltdauer
$\Delta S_A$ ( $\Delta S_A^*$ )	Laständerung (Scheinleistungsänderung)
$S_{k,M}$	Kurzschlussleistung einer Schweißmaschine
$S_{k,v}$	Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt
$\Delta t_A$	Dauer eines Schweißpulses
$\Delta t^*$	Zeitabschnitt
$u$	Spannung (Momentanwert)
$U_{L1}$	Spannung (Effektivwert, Leiter 1)
$U_C$	vereinbarte Versorgungsspannung
$X_v$	Netzreaktanzen am Verknüpfungspunkt (%/MVA-Wert)
$z_{RE}$	Anzahl der $\Delta Q_A^* - \Delta P_A^*$ -Werte pro Rastereinheit
$\varphi_A$	Winkel der Laständerung
$\psi$	Netzimpedanzwinkel am Verknüpfungspunkt

## Abkürzungen

EEQ	Elektroenergiequalität
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
PSM	Pressschweißmaschine



**Bild 6.** Informationsaustausch und Messdatenerfassung der zentralen Steuereinheit des Leitsystems

während der Dauer eines ersten Schweißpulses ( $\Delta t_A$  in ms) von einer speziellen PSM mit einer bestimmten Schweißaufgabe, die qualitätsgerecht erfolgt ist, ge-





wonnenen  $\Delta Q_A^*$ - $\Delta P_A^*$ -Werte (siehe Bild 7) in Teilrasterflächen von  $(1 \times 1 \text{ p. u.})$  Rastereinheiten eines  $\Delta Q_A^*$ - $\Delta P_A^*$ -Diagramms eingetragen, das zwischen einem Minimal- und Maximalwert auf je 20 Rastereinheiten skaliert wurde. Die Anzahl der  $\Delta Q_A^*$ - $\Delta P_A^*$ -Werte jeder Rastereinheit  $z_{RE}$  wird in einer Datenbank abgelegt und ist ein Maß dafür, über welche Zeit

$$\Delta t_A^* = z_{RE} \cdot \frac{20}{n} \text{ (in ms) innerhalb der Dau-}$$

er eines einzelnen Schweißpulses ein definierter Bereich von Wirk- und Blindleistung eingehalten wurde. Das auf diese Weise aus einer Vielzahl von Einzelschweißungen entstandene  $\Delta Q_A^*$ - $\Delta P_A^*$ -Diagramm wird als Benchmark für eine qualitätsgerechte Schweißung verwendet. Es hat sich herausgestellt, dass bei jeder weiteren Schweißung, die auf gleiche Weise bewertet wird und bei der die Anzahl  $z_{RE}$  in keiner Rastereinheit der Benchmark überschritten wird, eine qualitätsgerechte Schweißung erfolgt ist. Liegt eine Überschreitung durch eine nachfolgende Schweißung vor und die daraufhin vorgenommene Qualitätskontrolle der Schweißung führt zu keiner Beanstandung, wird der Benchmark der neuen Gegebenheit angepasst, indem in der Datenbank die entsprechenden Rastereinheiten mit der größeren Anzahl  $\Delta Q_A^*$ - $\Delta P_A^*$ -Werte überschrieben werden.

Bild 8a zeigt einen Benchmark, der beispielsweise aus 375 qualitätsgerechten Schweißungen entstanden ist. Die Anzahl der  $\Delta Q_A^*$ - $\Delta P_A^*$ -Werte wurde in Bild 8 farblich gekennzeichnet.

Bei einer weiteren Schweißung wird die Anzahl der  $\Delta Q_A^*$ - $\Delta P_A^*$ -Werte des Benchmarks mindestens in einer Rastereinheit überschritten (siehe Bild 8b) und es liegt eine Verletzung des Benchmarks vor, die durch eine nicht qualitätsgerechte Schweißung verursacht wurde.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das neue Qualitätssicherungssystem in der Lage ist,

- unzulässige Abweichungen von der Versorgungsspannung des Schweißnetzes zu erkennen,
- Änderungen der Schweißpulsdauer sowie des Schweißstroms zu detektieren,
- mit hoher Wahrscheinlichkeit fehlerhaften Elektrodenanpressdruck sowie mangelhafte Elektrodenbeschaffenheit zu erfassen,
- leider aber nicht in der Lage ist, eine Veränderung der Materialeigenschaften (Oberflächenverschmutzung, Beschichtung, Materialdicke) und Toleranzen bei der Werkzeugeinstellung als Ur-

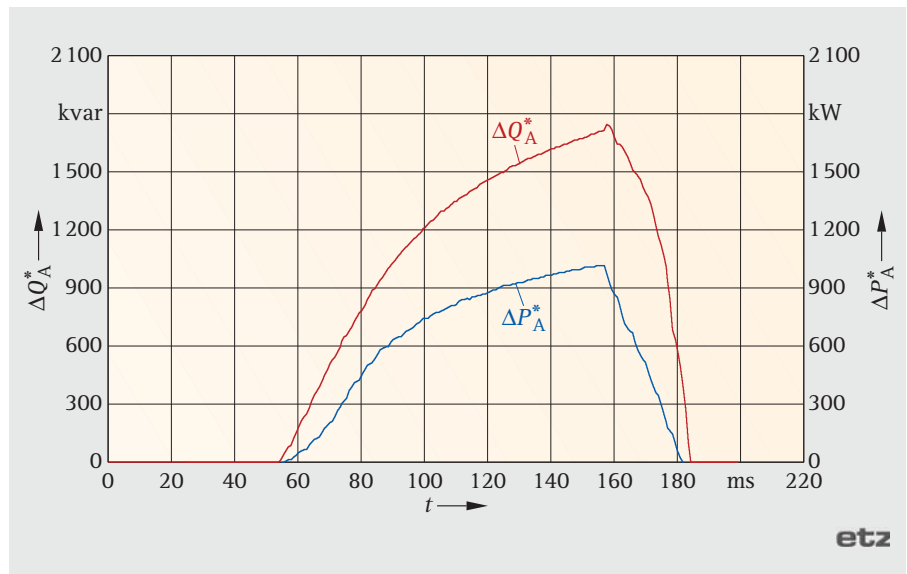


Bild 7. Zeitlicher Verlauf der Wirk- und Blindleistung eines Schweißpulses im Leiter 1 der PSM

chen schlechter Produktqualität zu signalisieren.

### Ausblick

Durch systematische und computergestützte Überwachung vorgegebener Grenzwerte ausgewählter Qualitätskenngrößen der Versorgungsspannung eines industriellen Fertigungsabschnitts wird am Beispiel einer Schweißanlage zur Herstellung von Karosserieteilen für Pkw der Daimler AG gezeigt, dass durch die Einhaltung der elektrischen Grenzwerte nicht nur ein sicherer, stabiler sowie konformer Betrieb des elektrischen Stromversorgungsnetzes erzielt wird, sondern auch eine qualitätsgerechte Fertigung bei hoher Produktivität möglich wird. Auf diese Weise ist es gelungen, das bewährte firmeneigene Qualitätssicherungssystem durch eine wichtige Komponente zu erweitern.

### Literatur

- [1] Stade, D.; Schäfer, H.; Ulrich, P.: Power Quality in Netzen mit Schweißanlagen der Automobilindustrie. etz Elektrotech. + Autom. 127 (2006) H. S1, S. 74-78 (ISSN 0948-7387)
- [2] DIN EN 61000-2-4 (VDE 0839-2-4):2003-05 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 2-4: Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen in Industrieanlagen. Berlin-Offenbach: VDE VERLAG
- [3] Heck, Th.: Beschreibung der Elektroenergiequalität an der Schnittstelle zwischen Elektroenergieversorgungsnetz und Elektroenergieabnehmer. Dissertation TU Ilmenau. Gerlingen (Württ): Eigenverlag, 2004 (urn:nbn:de:gbv:ilm1-2005000198)
- [4] Daimler AG, Sindelfingen: www.daimler.com
- [5] Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen. Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs (VEÖ) (Hrsg.). Frankfurt/M.: VWEW, 2007 (ISBN 978-3-8022-0895-9)
- [6] Taleb, T.; Klaus, A.: Rosenbaum, T.: Verbesserung der Elektroenergiequalität mittels hybrider Kompensatoren. etz Elektrotech. + Autom. 127 (2006) H. 8, S. 34-37 (ISSN 0948-7387)

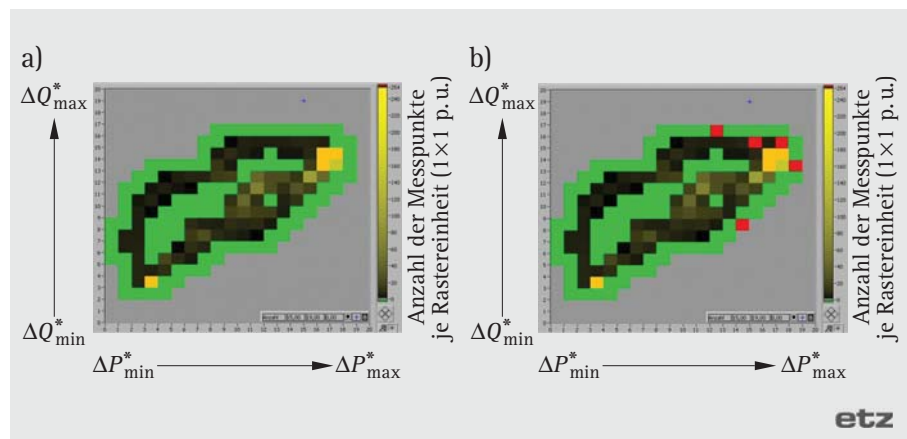


Bild 8. a) Benchmark (Anzahl der Schweißungen: 347), b) Abweichung von Messpunkten einer weiteren Schweißung (348.) von dem Benchmark