



Thema: **Das Kompakterregersystem Digureg-2,**

Subject:

Datum: 14.03.2018

Date:

Funktionsumfang, Performance sowie dessen Einordnung im Feld der Mitbewerber und Fremdfabrikate

1. Allgemeines

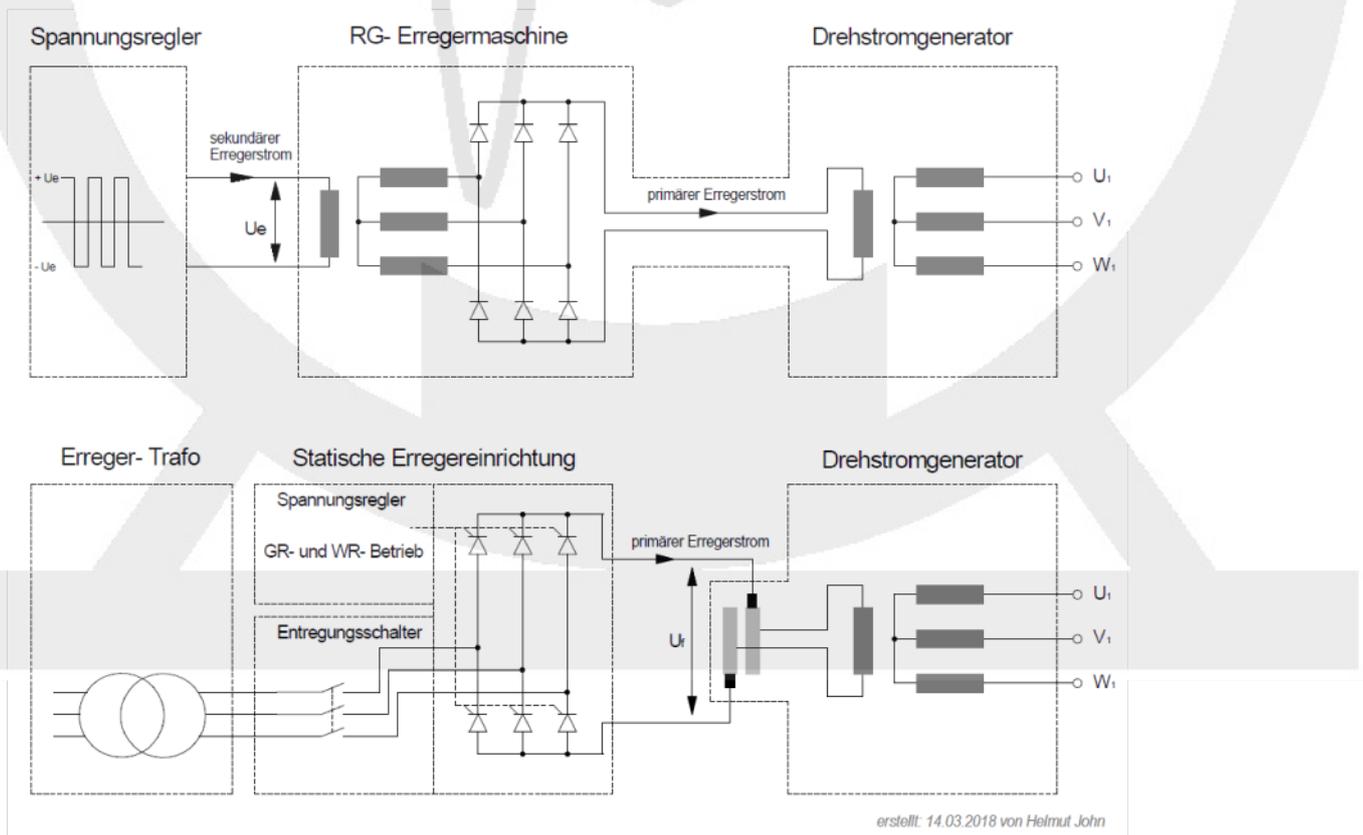
Eine Synchronmaschine besteht in ihrer Ausführungsform als sogenannte Innenpolmaschine, aus einer dreiphasigen Ständerwicklung und einer, aus ausgeprägten Magnetpolen bestehenden Läuferwicklung. Vereinzelt findet man diese Struktur auch in umgekehrter Anordnung als so genannte Außenpolmaschine.

Je nach der gewünschten Frequenz, die aus der Ständerwicklung entnommen oder in diese eingespeist wird, ergeben sich die erforderliche Läuferdrehzahl und die Anzahl der rotierenden Magnetpole nach folgender Beziehung:

$$f \text{ [Hz]} = \frac{n \times 2P}{60} \quad (2P \text{ entspricht dabei der Polpaarzahl})$$

Beide Ausführungsformen können aber nur eine Spannung in der Ständerwicklung generieren, wenn die Polwicklung von einem Erreger- Gleichstrom durchflossen wird und dieser im Luftspalt der Synchronmaschine ein Magnetfeld aufbauen kann, was uns nun zum Erregersystem als Teil der Generatorebeneanlage führt.

Dabei kommen in der praktischen Anwendung im Wesentlichen zwei, sich vom Wirkprinzip deutlich unterscheidende Grundformen zum Einsatz. Im der nachfolgenden Skizze sind diese Strukturen mit den bestimmenden Baugruppen dargestellt.



Beide Erregersysteme haben natürlich ihre anwendungsspezifischen Vor- und Nachteile, so dass eigentlich nur die technischen Anforderungen an den Generator selbst, auch das anzuwendende Erregersystem bestimmen.

Im unteren Teil der vorstehenden Skizze wird das so genannte statische Erregersystem dargestellt. Dieses Erregersystem generiert direkt den so genannten primären Erregerstrom und kann damit direkt die Maschinendynamik beeinflussen, so dass damit Lastsprünge sehr schnell ausgegletzt sowie die Auf- und Entregungszeiten durch die Betriebsarten Gleich- und Wechselrichter- Betrieb, direkt beeinflusst werden können.

Als deutlicher Nachteil ist die „schleifende“ Verbindung zur Übertragung des primären Erregerstroms in die Läuferwicklung zu nennen.

Daraus resultiert nicht nur eine technische Obergrenze des zu übertragenden Erregerstroms, sondern auch eine relativ große Belastung bzw. Verschmutzung der direkten Generatorumgebung durch den Abrieb der Kohlebürsten.

Aus ökonomischer Sicht ist die statische Erregereinrichtung sehr kostenintensiv, da der Erregertrafo in Verbindung mit dem Erregerschalter und der nachgeschalteten Thyristorbrücke, die gesamte Erregerleistung übertragen müssen, und somit den wesentlichen Kostenfaktor darstellen.

Im oberen Teil der vorstehenden Skizze ist ein so genanntes RG- Erregersystem dargestellt. Die Bezeichnung RG steht in diesem Fall für den Begriff **Rotierende Gleichrichter**.

In diesem Konzept ist auf der Generatorwelle noch eine Erregermaschine angeordnet, die über eine, ebenfalls auf der Welle angeordnete Gleichrichterbrücke, den Erregergleichstrom, ohne schleifende Verbindung, direkt in die Polwicklung der Synchronmaschine speist. Die Stromübertragung zwischen dem rotierenden Gleichrichter und der Polwicklung der Synchronmaschine erfolgt dabei durch Stromschienen in einer hohl gebohrten Generatorwelle, durch die erregerseitige Lagerstelle hindurch. Aus technischer Sicht besteht dabei keine obere Grenze des zu übertragenden Erregerstroms.

Die erforderliche primäre Erregerleistung der Synchronmaschine wird dabei nicht mehr vom Erregersystem selbst erzeugt, sondern in der, dem Generator zugeordneten rotierenden Erregermaschine.

Das Erregersystem mit den darin befindlichen Regelungskomponenten muss lediglich den so genannten sekundären Erregerstrom generieren, der die Feldwicklung der Erregermaschine speist.

Während die Komponenten des statischen Erregersystems die gesamte Erregerleistung generieren müssen, muss ein RG- Erregersystem nur ca. 1% der für die Synchronmaschine erforderlichen Erregerleistung bereitstellen.

Allerdings hat ein RG- Erregersystem natürlich auch seine anwendungsspezifischen Vor- und Nachteile.

Das RG- Konzept erzeugt zwar keine Verschmutzung der Generatorumgebung durch Bürstenabrieb und da keine schleifenden Stromübertragungssysteme vorhanden sind, ist dieses System nahezu wartungsfrei.

Hinsichtlich der regeldynamischen Fähigkeiten wirken sich die zusätzlichen Zeitkonstanten und Sättigungserscheinungen nachteilig auf die Gesamtdynamik des Stromerzeugers aus.

Dieses Erregersystem ist folglich ideal für so genannte Grundlast- Erzeuger mit geringen dynamischen Anspruch geeignet. Für stoßartige Belastungsänderungen, wie sie beispielsweise in Walzwerken auftreten, kann eine statisch erregte Maschine den Anforderungen besser gerecht werden.

Der Kostenvorteil liegt dabei aber eindeutig auf der Seite des RG- Erregerkonzeptes, da sich die Fertigungskosten einer RG- Erregermaschine nur unwesentlich von denen eines Schleifringensystems für größere Erregerströme unterscheiden.

Ein RG- Erregersystem, welches zusätzlich noch als Kompakterregersystem ausgeführt werden kann, dürfte in einer vergleichbaren Leistungsklasse um Größenordnungen günstiger sein, als eine statische Erregereinrichtung einerseits oder ein RG- Erregersystem, welches aus Einzelkomponenten aufgebaut ist, wie beispielsweise die Systeme RG3-S oder RG3-S7.

Damit ist der direkte der Brückenschlag gegeben, um an dieser Stelle das Kompakt- Erregersystem DIGUREG-2, dessen Funktionsumfang und Performance sowie dessen Einordnung im Feld der Mitbewerber und Fremdfabrikate näher zu beschreiben.

2. Klassifizierungsmerkmale von Kompakterregersystemen

Jeder der renommierten Hersteller von Erregersystemen für Synchronmaschinen hat unter anderem auch ein Kompakterregersystem zum Erregen von sogenannten RG- Generatoren im Angebot.

Bei diesen Erregersystemen ist die innere Software- Struktur fest vorgegeben, d.h. von außen nicht veränderbar.

Alle Kompakterregersysteme der verschiedenen Hersteller enthalten im Wesentlichen die gleichen Grundfunktionen wie:

- Erregerstromregler (ECR) zur Stellung des Erregerstroms im Revisions- und Test- Betrieb zur Kennlinienaufnahme.
- Generator- Spannungsregler (AVR) im Netzparallel- und Inselbetrieb zur Spannungsstabilisierung des zu speisenden Netzabschnitts.
- Übergeordnete Betriebsarten wie Blindleistungs- und Leistungsfaktor- Regelung.
- Begrenzungsfunktionen, die ein Verlassen der vom Hersteller der Synchronmaschine vorgegebenen Fläche des Leistungsdiagramms, durch den aktuellen Arbeitspunkt, wirksam verhindern. Im Einzelnen sind das die Erregerstrom- und Ständerstrom- Begrenzungen sowie die Übererregungs- und Untererregungs- Begrenzungen.
- Kostenfreie Bereitstellung eines Parametrier- und Inbetriebnahme- Tool zur Optimierung des Erregersystems an die Anlagenbedingungen, was bei RG- Erregersystemen, die aus Einzelkomponenten bestehen, nicht der Fall ist. Zur Parametrierung dieser RG- Systeme ist oftmals die zusätzliche Investition einer zusätzlichen und kostenintensiven Inbetriebnahme- Software erforderlich.

Die Unterschiede zwischen den Kompakterregersystemen der unterschiedlichen Hersteller zeigen sich erst, wenn man die zusätzlich implementierten Funktionen und deren Ansprechverhalten miteinander vergleicht und daraus den Preis / Leistungsfaktor bewertet.

Als zusätzliche Funktionen, die zum Erregen einer RG- Synchronmaschine nicht zwingend erforderlich sind, folgende zu nennen:

- Ist der hinterlegte Software- Algorithmus IEEE konform oder nicht?
- Ist der Spannungs- Regler als PI- oder PID- Regler in der Software implementiert?
- Anzahl und Ausführung der vorhandenen analogen Ein- und Ausgänge, um vor allen Dingen bei Retrofitanlagen, die noch in der Anlage vorhandenen analogen Anzeige- Instrumente bedienen zu können bzw. eine Regelung an der Netzübergabestelle zu ermöglichen.
- Ist an der Netzübergabestelle die Regelung der Blindleistung und des Leistungsfaktors möglich?
- Anzahl und Ausführung der vorhandenen binären Ein- und Ausgänge, sind die Kommando- Eingänge flanken getriggert oder nicht und wird im Ein- und Ausgangs- Signalverhalten klar zwischen Kommando- und Status- Signalen unterschieden?
- Anzahl und Art der vorhandenen Kommunikations- und Bus- Schnittstellen.
- Ist im Erregersystem eine so genannte Ein-/ Aus- Logik vorhanden oder muss diese, wie bei einigen namhaften Herstellern erforderlich, mit externer Hardware- Logik dazu gebaut werden?
- Vorhandensein eines einfachen, aber für low- cost Anlagen durchaus ausreichenden Parallelschaltgerätes.
- Vorhandensein eines im Bedarfsfall zuschaltbaren Pendeldämpfungsgerätes (PDG oder engl. PSS genannt)

Bei einem Preisvergleich der Kompakterregersysteme der unterschiedlichen Hersteller sollte man daher nicht nur den Preis, sondern diesen immer mit dem dafür erhaltenen Funktionsumfang gegenüberstellen.

Beispielsweise bekommt man bei der Fa. ABB die Basisvariante eines Kompakterregergerätes Unitrol 1020, bei dem die vorstehend genannten Zusatzfunktionen alle ausgeblendet d.h. nicht verfügbar sind, zu einem relativ günstigen Preis.

Möchte man nun einige der aufgeführten Zusatzfunktionen nutzen, erhöht sich entsprechend der Gerätepreis.

Die Siemens AG hingegen, liefert ihren Kompakterreger Digureg-2 mit dem gesamten vorstehend aufgeführten Funktionsumfang aus, wodurch sich der Gerätepreis auf den ersten Blick deutlich von dem der ABB unterscheidet.

Betrachtet man aber das Preis-/Leistungsverhältnis beider Geräte wird man feststellen, dass sich ein Unitrol- Gerät mit dem vollen Funktionsumfang eines Digureg-2 Gerätes, preislich nur unwesentlich von diesem unterscheidet.

3. Das Kompakt- Erregersystem Digureg-2

Die Siemens AG hat in den vergangenen Jahren große Anstrengungen unternommen, ebenfalls ein Kompakterregersystem anzubieten, um den temporären Angebotsvorteil der Mitbewerber zu kompensieren.

Die Fa. HSP Barschat & Krönert GmbH wurde damals damit beauftragt, auf der Grundlage des nunmehr abgekündigten Erregergerätes Digureg-1, unter der beratenden Mitwirkung des Ingenieurbüro John, ein Nachfolge- System zu entwickeln, welches durch den Generationswechsel der nun zur Verfügung Prozessor- Hardware eine deutlich höhere Geräte- Performance aufweist.

Im Ergebnis dieser Entwicklungsarbeit sind die drei nachfolgend dargestellten Varianten des Digureg-2 entstanden.

3.1. Ausführungsformen

Das DIGUREG 2 existiert in den folgenden Geräteausführungen: (Quelle: Digureg Systemhandbuch Seite 13)

Geräteausführung	MLFB (Bestellnummer)	Beschreibung
DIGUREG 2 16 A	6RU3062-7AA	Regel- und Steuerteil inklusive Leistungs- teil 16 A
DIGUREG 2 34 A	6RU3063-7AA	Regel- und Steuerteil inklusive Leistungs- teil 34 A
DIGUREG 2 AVR	6RU3060-7AA	Regel- und Steuerteil zur Ansteuerung eines externen Leistungsteils. Siehe Kapitel „DIGUREG 2 AVR“



Die Reglungs- und Steuersoftware, sowie die Anzahl der binären und analogen Ein- und Ausgänge ist bei allen, der vorstehend dargestellten Geräte- Varianten gleich.

Sämtliche Steuerungs- und Leistungsanschlüsse sind als kodierte Steckverbinder ausgeführt, so dass im Bedarfsfall ein Gerätewechsel innerhalb weniger Minuten ausgeführt werden kann. Vor diesem Hintergrund lohnt es sich bei der Projektierung von Neuanlagen ob eine redundante Projektausführung in unbedingt erforderlich ist.

Die Unterschiede zwischen den drei Gerätevarianten bestehen lediglich in der Ausführung des sogenannten Leistungsteils. Entsprechend dem erforderlichen Bedarf des sekundären Erregerstroms kann zwischen der 16 A und der 34 A Variante gewählt werden.

Mit der als „AVR“ bezeichneten Gerätevariante können beliebige Leistungsgrößen von externen Leistungsteilen, die ohne weiteres auch Fremdfabrikate sein können, angesteuert werden, so dass damit dem maximal erreichbaren Ausgangsstrom theoretisch keine Grenzen gesetzt sind.

Dabei ist die Ansteuerung von so genannten PWM geregelten DC- Choppem sowie auch von Thyristorbrücken beliebiger Fabrikate möglich.

3.2. Binäre Ein- und Ausgänge sowie die binäre Aus- Ein- Logik

Jede der vorstehend aufgeführten Gerätevarianten verfügt über 16 Hardware- Binäreingängen und 12 Hardware- Binärausgänge. Jedem der 16 Hardwareeingängen, kann eine der 142 binären Eingangsvariablen zugeordnet werden. Die Zuordnung ist dabei frei parametrierbar.

Analog dazu können auch jedem der 12 Hardware- Binärausgängen, eine der 47 Ausgangsvariablen frei zugeordnet werden.

Das erste wesentliche Merkmal, wodurch sich der Digureg-2 von den Kompakterregengeräten der Mitbieter wie ABB und Basler deutlich unterscheidet, ist, die im Algorithmus realisierte Ein-/Aus- Logik und die strikte Einhaltung der Signalformen, d.h. die Unterscheidung zwischen Kommando- und Statussignalen.

Beispielsweise muss bei ABB- und Basler- Erregergeräten das Einschalten der Erregung oder die Anwahl einer anderen Betriebsart mit einem Statussignal gehalten werden, was aber eigentlich Kommandos sind.

Auf Grund der im Software- Algorithmus integrierten Ein-/Aus- Logik ist auch die vollständige Kontrolle des Erregerschalters, der in der Digureg-2 Terminologie als „Hauptschütz“ bezeichnet wird, hinsichtlich der Betätigungsspannung und des Rückmeldesignals möglich.

Bei den Kompakterregern der Mitbewerber muss die Steuerung des Erregerschalters, sofern in diesen Projekten überhaupt einer vorgesehen ist, durch eine zusätzliche externe Relais- Logik realisiert werden.

Beim Digureg-2 werden diese Kommandoinformationen, wie z.B. „Erregung Ein“, „Erregung Aus“ oder Umschalten zwischen den Betriebsarten auch als Kommandosignale erkannt und als diese behandelt, indem nur die Signalfanke und nicht der Status ausgewertet wird.

Damit ist nur beim Digureg-2 die Möglichkeit gegeben, im Rahmen der Inbetriebnahme auch das System mit einem Inbetriebnahme- PC von vor Ort aus steuern zu können. Ein „Festklemmen“ der Gerätefunktion z.B. über Bus durch die angeschlossene Leittechnik kann damit nicht auftreten und somit die Inbetriebnahme- Aktivitäten vor Ort nicht behindern.

3.3. Analoge Ein- und Ausgänge und deren Skalierung

Der Digureg-2 verfügt über vier frei programmierbare Analogeingänge, die jeweils unabhängig voneinander, sechzehn interne Variablen von außen gesteuert werden können. Die Skalierung der Eingänge kann wahlweise als 0 – 20 mA oder 4 – 20 mA Signals parametrierbar werden.

Beispielsweise können im Fall einer gewünschten Blindleistungs- oder Leistungsfaktor- Regelung an der Netzübergabestelle, die jeweiligen Blind- und Wirkleistungs- Istwerte an der Netzübergabestelle in den Digureg-2 eingelesen werden.

Weiterhin stellt die Gerätehardware auch insgesamt acht Analogausgänge bereit, wobei die Ausgänge 1 bis 7 als reine Stromausgänge in den Bereichen 0 – 20 mA oder 4 – 20 mA umgeschaltet werden können.

Der Analogausgang 8 ist mit einer Doppelfunktion versehen. An getrennten Hardware- Klemmen steht zum einen der Stromausgang 0 – 20 mA bzw. 4 – 20 mA und zum anderen ein Spannungsausgang zur Verfügung, der ebenfalls in den Bereichen 0 – 10 V sowie 2 – 10 V umschaltbar ist.

Jeder der einzelnen Analogausgänge kann frei und unabhängig voneinander mit unterschiedlichsten Ausgangsvariablen skaliert werden.

Mit insgesamt acht frei programmierbaren Analogausgängen hebt sich der Digureg-2 erneut deutlich aus dem Feld der Mitbewerber ab und ermöglicht damit eine Anschluss- Variabilität, die weder von anderen Kompakterregengeräten noch von den aus Einzelkomponenten bestehenden RG- Erregersystemen erreicht wird.

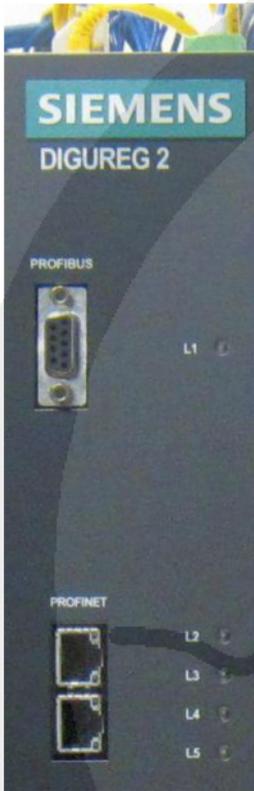
In diesen Anlagen kann die Anzahl der Analogausgänge zwar auch erhöht werden, was aber nur mit kostenintensiven zusätzlichen Erweiterungskarten möglich ist.

3.4. Schnittstellen zum Einbinden des Digureg-2 Erregersystems in vorhandene Bus- Strukturen

Diese Position gehört wohl zu den deutlichsten Unterscheidungsmerkmalen des Digureg-2 im Vergleich mit den Erregersystemen der Fremdfabrikate und Mitbewerber.

Mit der vorhandenen Profibus- Schnittstelle und der Profinet- Schnittstelle mit Switch- Funktion, fügt sich der Digureg-2 idealer Weise in leittechnische Systeme ein, die auf SIMATIC S7 basieren.

Mir ist kein Fremdfabrikat bekannt, welches über eine derartige Anschlussvielfalt verfügt und ohne zusätzliche Protokollwandler in SIMATIC S7- Systeme integrierbar wäre.



Das nebenstehende Foto zeigt einen Ausschnitt der Gerätevorderseite, in der die Profibus- und die Profinet- Anschlussbuchsen erkennbar sind.

Die sichtbaren Buchsen sind Bestandteile von Schnittstellen- Modulen der Fa. Anybus, wobei das Profinet- Modul zusätzlich noch über eine Switch- Funktion verfügt, woraus sich die vielfältigsten Anschlussmöglichkeiten für eine Bus- Verbindung ergeben.

Zusätzlich befindet sich auf der Geräteoberseite eine weitere Ethernet- Buchse, -X301, im nebenstehenden Bild mit einem gelben Stecker belegt, über die in der Single- Ausführung eines Erregerprojektes der Parametrier- und Inbetriebnahme- PC mit dem Digureg-2 kommunizieren kann.

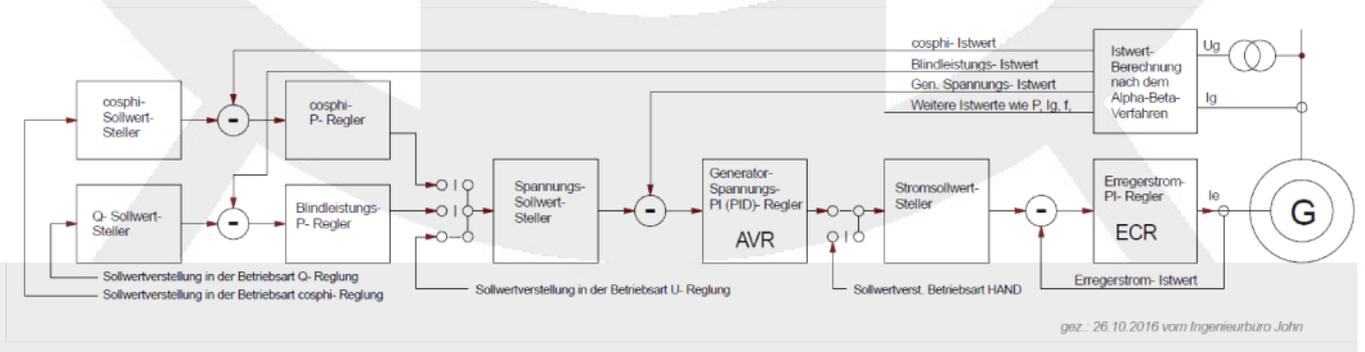
Im Fall eines redundant ausgeführten Erregerprojektes, werden die -X301 Buchsen beider Digureg-2 Kanäle über einen Switch miteinander verbunden. Über diese Ethernet- Verbindung tauschen beide Geräte ihre redundanten Informationen, wie nachzuführende Sollwerte, Betriebszustände und das binäre Fehlermanagement untereinander aus. Die bei den Digureg-1 Geräten übliche analoge Nachführung des Erregerstrom- Sollwertes wird bei den Digureg-2 Geräten nicht mehr angewendet.

Zusätzlich kann der Parametrier- und Inbetriebnahme- PC über diesen Switch gleichzeitig mit beiden redundanten Kanälen kommunizieren. Dieser PC kann auch in Form eines Industrie- PC in die Tür des Erregerschranks eingebaut werden und somit unter Nutzung des Digureg-2 Software- Tools, die so genannte HMI- Funktion, d.h. eine Online- Darstellung der Betriebswerte bzw. erforderliche Veränderungen der Betriebswerte vor Ort ermöglichen.

In Position 3.9. dieser Themenschrift sind einige Beispiele, der sich aus der Nutzungs- Vielfalt dieser Schnittstellen- Kombination ergebenden Möglichkeiten dargestellt.

3.5. Im Digureg-2 implementierte Regler- Baugruppen, deren Optimierung sowie die Möglichkeit einer Gegenerregung

In der nachfolgend dargestellten Prinzip- Skizze ist der Signalflussverlauf in den Reglungsarten an der Generatorklemme dargestellt.



Analog zu den Konkurrenzprodukten enthält der Software- Algorithmus fünf Regler- Betriebsarten, die an der Generatorklemme, die Istwerte nach den vorgegebenen Sollwerten ausregeln und stabilisieren.

Der vorstehend dargestellte Signalfluss muss aber im Detail nicht in jedem Fall mit dem der Konkurrenzprodukte identisch sein, aber die Funktions- Ergebnisse sind jedoch vergleichbar.

Zusätzlich ermöglicht der Digureg-2 noch die Regelung der Blindleistung und des Leistungsfaktors an der so genannten Netzübergabestelle.

Dazu werden die analogen Größen der von einem Messwertumformer gebildeten Wirk- und Blindleistung an der Netzübergabestelle, dem Digureg-2 über zwei Analogeingänge zugeführt. Aus diesen beiden Istwert-Größen berechnet der Digureg-2 daraus die momentanen Blindleistungs- und Leistungsfaktor- Istwerte an der Netzübergabestelle.

Während der Inbetriebnahme- Aktivitäten müssen nun die Regler- Parameter k_p , T_N und T_v an die vorhandenen physikalischen Bedingungen des Aufstellungsortes angepasst und optimiert.

Diese Systemoptimierung stellt eigentlich den interessantesten Teil einer Generator- und Erreger- Inbetriebnahme dar.

Die besten Erfahrungen zur Optimierung von Reglern an unbekanntem Regelstrecken mit Ausgleich, habe ich mit der Anwendung des von Chien, Hrones und Reswick 1952 entwickelten Wendetangenten- Verfahren gemacht. Mit diesem Verfahren gelingt es relativ schnell, die optimalen Wertepaare von k_p , T_N und T_v empirisch zu ermitteln.

Im Zusammenhang mit dem funktionellen Darlegen der Regler- Baugruppen des Digureg-2, muss natürlich auch das Vorhandensein der zuschaltbaren Möglichkeit einer Gegenerregung erwähnt werden.

Diese Zusatzfunktion stellt wieder die funktionelle Überlegenheit des Digureg-2 im Vergleich der Konkurrenzprodukte in den Vordergrund.

Bekanntlich hat ein RG- Erregersystem, welches nur den so genannten sekundären Erregerstrom bereitstellt, keinen Einfluss auf die Entregungszeit im so genannten primären Erregerkreis.

Tritt während des Betriebes eines RG- erregten Generators im Generatorständer ein Wicklungsschaden auf, sollte der primäre Erregerkreis, zur Schadensbegrenzung, so schnell wie möglich entregt werden.

Handelt es sich bei der Erregermaschine nicht um eine Maschine mit rotierenden Gleichrichtern, sondern um eine Kommutator- Maschine, kann durch ein Umpolen des sekundären Erregerstroms auch die Entregungszeit im primären Erregerkreis deutlich verkürzt werden.

Der Digureg-2 verfügt über diese Möglichkeit einer so genannten Gegenerregung, so dass dieser im Retrofitbereich die Performance älterer Maschinen deutlich verbessern kann.

3.6. Im Digureg-2 implementierte Begrenzungsfunktionen

Jeder Hersteller von Synchronmaschinen gibt für die möglichen Arbeitspunkte seiner Maschine eine Betriebsfläche vor. Innerhalb dieser Kennfläche kann die Maschine im Dauerbetrieb arbeiten. Verlässt der Maschinenarbeitspunkt diese Kennfläche besteht die Gefahr das die Maschine elektromechanisch instabil oder thermischen Schaden im Läufer- oder Ständerbereich erleidet. Diese Kennfeld- Fläche wird allgemein als Leistungs- oder P/Q- Diagramm bezeichnet.

Die Begrenzungsfunktionen stellen keine Besonderheit des Digureg-2 dar, sondern in jedem Erregersystem vorhanden und verhindern bei korrekter Parametrierung, dass selbst bei einem Bedienfehler des Schaltwarten- Personals, das dieser gestattete Arbeitsbereich innerhalb des P/Q- Diagramms, nicht verlassen werden kann. Die wirksamen Begrenzungsfunktionen im Software- Algorithmus des Digureg-2 haben folgenden Wirkungsbereich:

- **Übererregungsbegrenzung**

Auch U/f- Begrenzung genannt, sorgt dafür, dass der Quotient (U_g $_{[pu]} / f$ $_{[pu]}$) nicht größer werden kann als der parametrisierte Grenzwert, in der Regel 1,1 fach. Wird der Quotient größer, besteht die Gefahr, dass das Blechpaket magnetisch übersättigt wird und die dadurch im Blechpaketrückenden austretenden Feldlinien zu schädlichen Übererwärmungen in den naheliegenden Gehäusesegmenten verursachen.

- **Erregerstrombegrenzung**

Der Kupferquerschnitt im Generatorläufer ist für eine bestimmte Stromdichte ausgelegt. Steigt der Erregerstrom über diesen Wert hinaus, kann die dadurch zusätzlich entstehende ($I^2 \times R$) Wärme nicht mehr abgeführt werden und es kommt zur Überhitzung der Läuferwicklung. Setzt diese Begrenzung ein, kann der Erregerstrom durch den Bediener nicht mehr über den parametrisierten Grenzwert erhöht werden.

- **Ständerstrombegrenzung**

Analog dem Wirkprinzip der Erregerstrombegrenzung verhindert die Ständerstrombegrenzung, dass der aktuelle Ständerstrom den parametrisierten Grenzwert nicht überschreiten kann, indem indirekter Weise der Erregerstrom begrenzt wird, allerdings nach einem anderen Algorithmus.

Dabei muss man aber beachten, dass diese Begrenzungsfunktion ein Tot- Band hat, wo diese Funktion physikalisch nicht wirken kann. Dieser Bereich befindet sich links und rechts neben der Wirkleistungsachse im P/Q- Diagramm.

- **Untererregungsbegrenzung**

Eine Verringerung des Erregerstroms bewirkt, dass sich der Generator- Arbeitspunkt in Richtung des untererregten Bereiches des P/Q- Diagramms bewegt. Mit der Verringerung des Erregerstroms reduziert sich auch die Kraftschlüssigkeit der magnetischen Anziehungskraft zwischen den umlaufenden Ständer- und Läuferpolen. Unterschreitet diese Anziehungskraft ein von der Wirkleistung abhängiges Minimum, kann diese Anziehungskraft das von der Antriebsmaschine in die Generatorwelle eingebrachte Drehmoment nicht mehr kompensieren und die Synchronmaschine geht vom synchronen in den asynchronen Betrieb über.

Die UNE- Begrenzung überwacht somit den aktuellen Blindleistungs- Istwert in Abhängigkeit des aktuellen Wirkleistungs- Istwertes. Die UNE- Begrenzungslinie ist die Verbindungslinie zwischen insgesamt vier frei wählbaren Polygonpunkten, bestehend aus einem P- und einem Q- Wert.

3.7. Pendeldämpfungsgerät (PDG)

Im stabilen Lastbetrieb einer Synchronmaschine wird das von der Antriebsmaschine in die Welle eingebrachte positive Antriebsmoment von dem im Generatorluftspalt vorhandene negative Bremsmoment kompensiert, so dass im Kupplungsbereich ein so genanntes Drehmomenten- Gleichgewicht besteht. Im Generatorbetrieb eilen die Läuferpole dabei den Ständerpolen um einen wirkleistungsproportionalen Polwinkel voraus.

Wird nun dieser Gleichgewichtszustand durch einen Lastsprung gestört, so muss der Polwinkel eine, dem neuen Lastzustand entsprechende Position einnehmen. Auf Grund der Masse des gesamten Laufzeuges, erfolgt diese Positionsänderung nicht abrupt, sondern der Läufer eine Torsionspendelbewegung als gedämpfte Schwingung um die neue Polwinkelposition ein. Normalerweise wird diese Pendelbewegung durch die in jedem Läufer vorhandene Dämpferwicklung gedämpft. Reicht die aber im Einzelfall nicht aus, kann das im Software- Algorithmus implementierte Pendeldämpfungsgerät (PDG) zusätzlich eingreifen. Das PDG wird im angelsächsischen Sprachgebrauch auch als PSS bezeichnet, was aber bei wörtlicher Übersetzung, wie so viele andere Begriffe auch, den physikalischen Prozess nicht treffend beschreibt.

Im Algorithmus des Digureg-2 ist ein PDG hinterlegt, welches angeblich IEEE konform ist und die Bezeichnung PSS2B trägt. Im Bedarfsfall kann diese Funktion ein- und ausgeschaltet werden.

3.8. Im Digureg-2 implementiertes einpoliges Parallelschaltgerät mit Synchrocheck- Funktion

Im Digureg-2 ist auch ein einpoliges Parallelschaltgerät mit Synchrocheck- Funktion (PSG) implementiert, welches bereits im Auslieferungszustand verfügbar ist. In Kompakterregergeräten anderer Hersteller muss diese Funktion hinzugekauft werden.

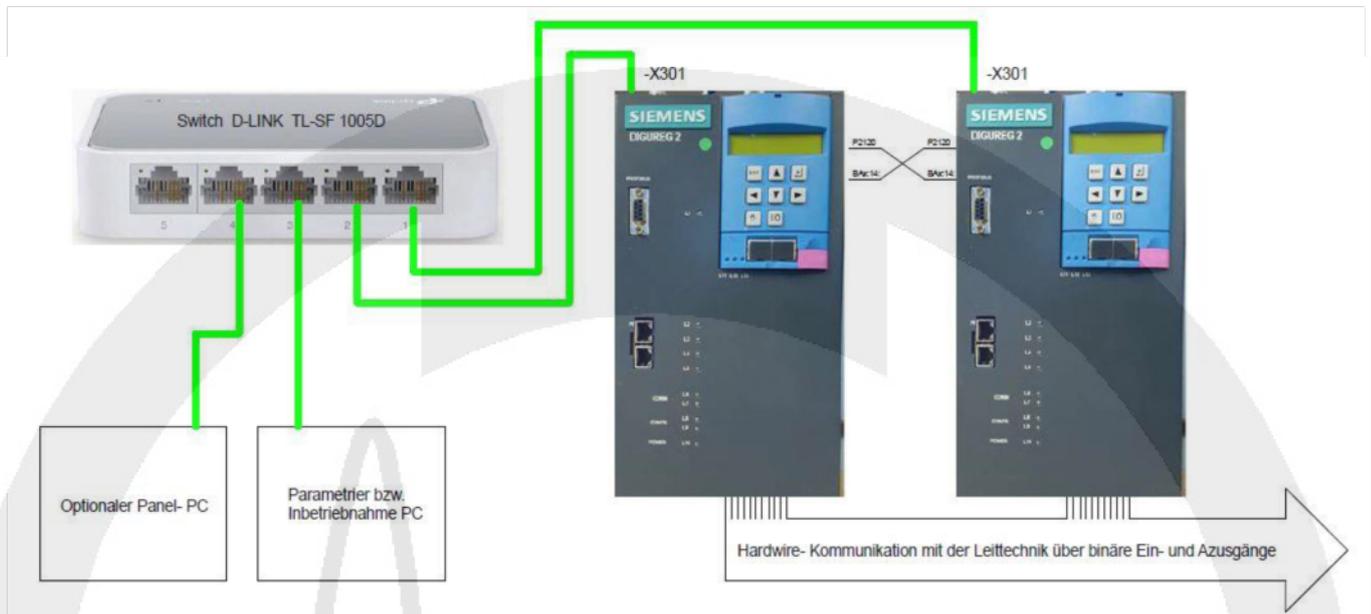
Dieses PSG erhebt zwar nicht den Anspruch, den man von einem dreipoligen Gerät erwartet, ist aber in low cost Anlagen einsetzbar und durchaus in der Lage, eine Synchronmaschine problemlos und störungsfrei mit dem Landesnetz parallelschalten zu können.

3.9. Redundanzbetrieb

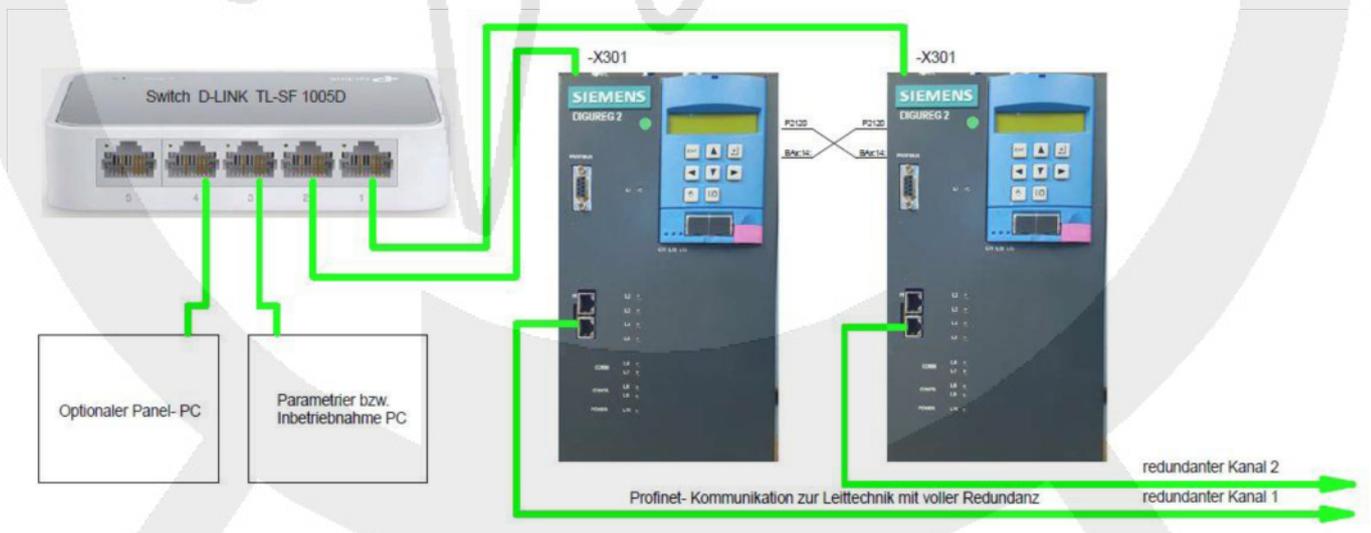
Der Digureg-2 ist natürlich auch dazu in der Lage, in einem redundant aufgebauten Erregerstromsystem störungsfrei und mit hinreichender Umschaltdynamik den aktuellen Erregerstrom von einem Kanal auf den anderen im Millisekunden- Bereich, um zu kommutieren.

Bei einem Minimum an Hardware- Verdrahtung zwischen den beiden Digureg-2 Geräten werden zu jeder Zeit alle Sollwerte der momentan nicht aktiven Funktionen, ihren jeweiligen Istwerten exakt nachgeführt. Der dafür notwendige Signalaustausch zwischen den beiden Geräten erfolgt dabei über die Ethernet- Buchse X301 und einen dazwischengeschalteten passiven Switch.

Nachfolgende Skizze zeigt eine redundante Struktur mit Hardware- Ankopplung an die LT sowie die prinzipiell dafür notwendigen Verbindungen zwischen beiden Geräten.



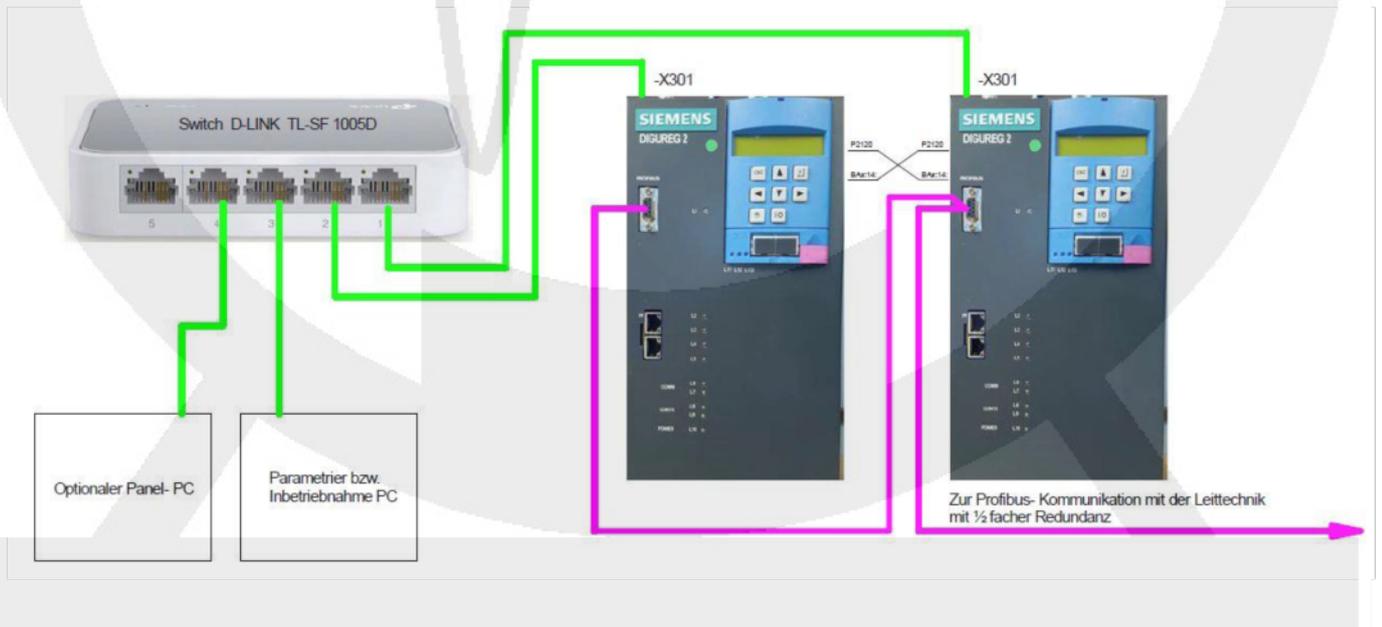
Nachfolgende Skizze zeigt eine redundante Struktur mit Profinet- Ankopplung an die LT sowie die prinzipiell dafür notwendigen Verbindungen zwischen beiden Geräten. Da die beiden Geräte über getrennte Busleitungen gesteuert werden ist eine 100%ige Redundanz gegeben.



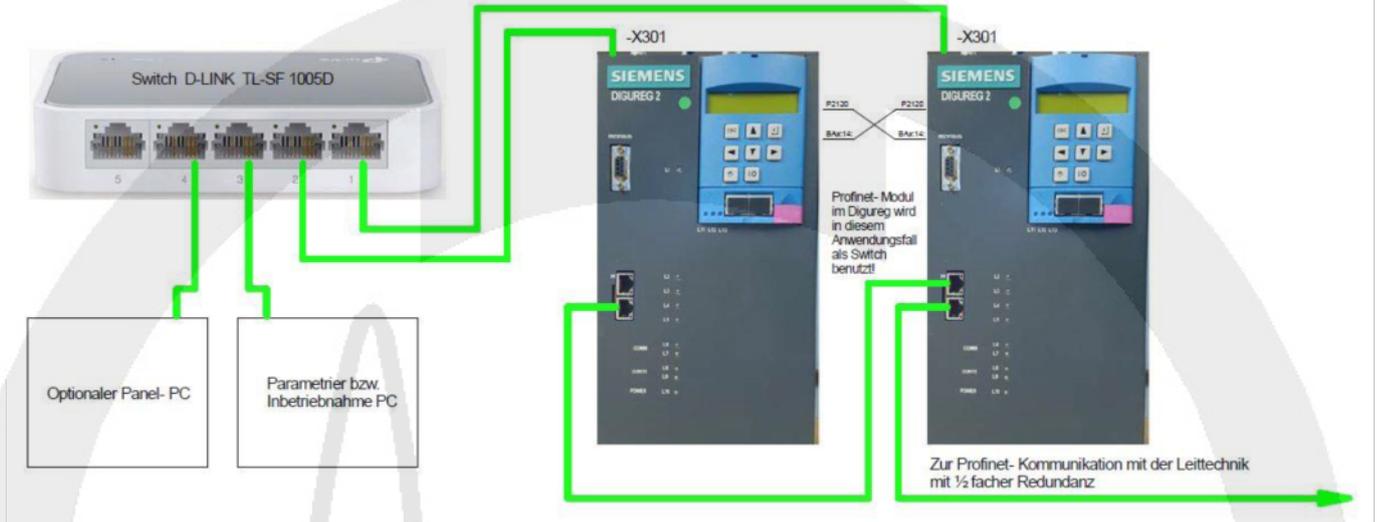
Nachfolgende Skizze zeigt eine redundante Struktur mit Profibus- Ankopplung an die LT sowie die prinzipiell dafür notwendigen Verbindungen zwischen beiden Geräten. Da die beiden Geräte über getrennte Busleitungen gesteuert werden ist eine 100%ige Redundanz gegeben.



Nachfolgende Skizze zeigt eine redundante Struktur mit Profibus- Ankopplung an die LT sowie die prinzipiell dafür notwendigen Verbindungen zwischen beiden Geräten. Da die beiden Geräte jedoch über eine Busleitung gesteuert werden, ist nur eine 50%ige Redundanz gegeben, d.h. fällt diese Bus- Zuleitung von der Leittechnik aus, sind beide Kanäle nicht mehr verfügbar.



Nachfolgende Skizze zeigt eine redundante Struktur mit Profinet- Ankopplung an die LT sowie die prinzipiell dafür notwendigen Verbindungen zwischen beiden Geräten. Da die beiden Geräte jedoch über eine Busleitung gesteuert werden, ist nur eine 50%ige Redundanz gegeben, d.h. fällt diese Bus- Zuleitung von der Leittechnik aus, sind beide Kanäle nicht mehr verfügbar. An dieser Stelle muss noch einmal hervorgehoben werden, dass die dargestellte Profinet- Verbindung beider Geräte nur möglich ist, weil die Profinet- Schnittstelle des Digureg-2 über eine Switch- Funktion verfügt.

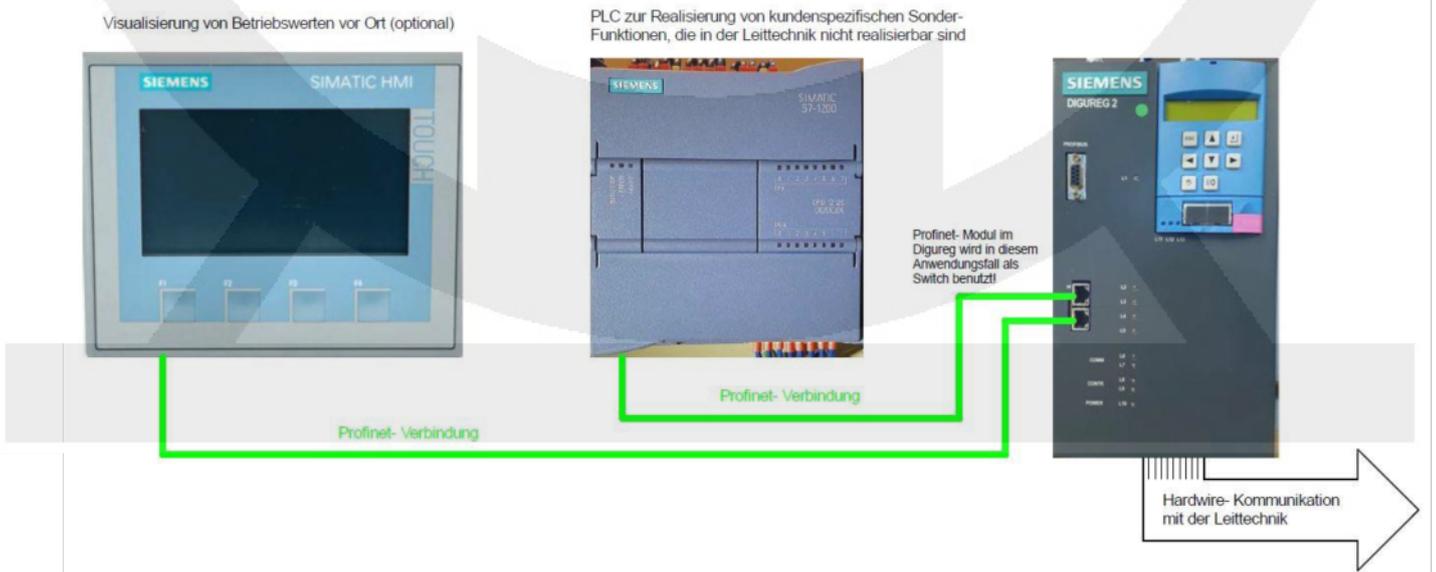


3.10. Realisieren von kundenspezifischen Sonderfunktionen

Der gravierendste Nachteil von Kompakterregersystemen besteht darin, dass dies in sich abgeschlossene Systeme sind. Eventuelle kundenspezifische Wünsche nach mehr analogen Ein- oder Ausgängen oder gar internen logischen Verknüpfungen sind zunächst prinzipiell nicht zu realisieren.

In diesen Anwendungen liegt der Vorteil eindeutig in den diskret aus Einzelkomponenten aufgebauten RG3- Geräten wie RG3-S oder RG3-S7, da diese in der Regel frei programmierbar sind.

Auf Grund der Schnittstellen- Vielfalt des Digureg-2 lässt sich dieses Erregersystem beispielsweise mit der sehr preisgünstigen SIMATIC S7-1200 kombinieren und somit kann der Digureg-2 auf einfache und kostengünstige Weise mit einer frei programmierbaren Oberfläche versehen werden.



Damit konnte der anfängliche Nachteil des in sich geschlossenen Kompakterreger- Gerätes gegenüber den RG3- Systemen, die aus Einzelkomponenten bestehen, weitestgehend beseitigt werden, so dass die überwiegenden Vorteile des Digureg-2 gegenüber diesen Systemen wieder voll zum Tragen kommen.

Beispielsweise wollte ein Kunde in Frechen nach dem Austausch seines alten Erregersystems durch einen Digureg-2, sofort nach dem Parallelschalten des Generators mit dem Landesnetz, automatisch eine Blindleistung von 0 Mvar und nach der Anwahl der Betriebsart cosphi- Regelung, einen Sollwert von 0,98 ind. fahren. Dabei sollte aber die Sollwertverstellung über die Hardwire- Eingänge trotzdem funktionieren um den von der S7 vorgegebenen Start- Sollwert jederzeit ändern zu können.

Wie im vorstehenden Bild dargestellt konnte dieser Kundenwunsch auf einfache und sehr kostengünstige Art und Weise realisiert werden. Eine CPU der Serie S7-1200 ist auf dem freien Markt bereit für weniger 300,00 € zu bekommen. Der vorstehend SIMATIC- Panel ist nur vollständigkeithalber mit dargestellt, wurde aber in Frechen nicht verwendet.

3.11. Schlussbetrachtung

Mit den vorstehenden Aussagen wurde versucht, zum einen das Digureg-2 Kompakterregergerät in seiner Ausführungsform, die vorhandenen Hardware- Schnittstellen und die im Software- Algorithmus des Gerätes umgesetzten Funktionen zu beschreiben.

Zum anderen ging es darum, die Gesamtpformance des Digureg-2 Gerätes im Feld der Konkurrenzprodukte anderer Hersteller zu klassifizieren und vorhandene Unterschiede herauszuarbeiten.

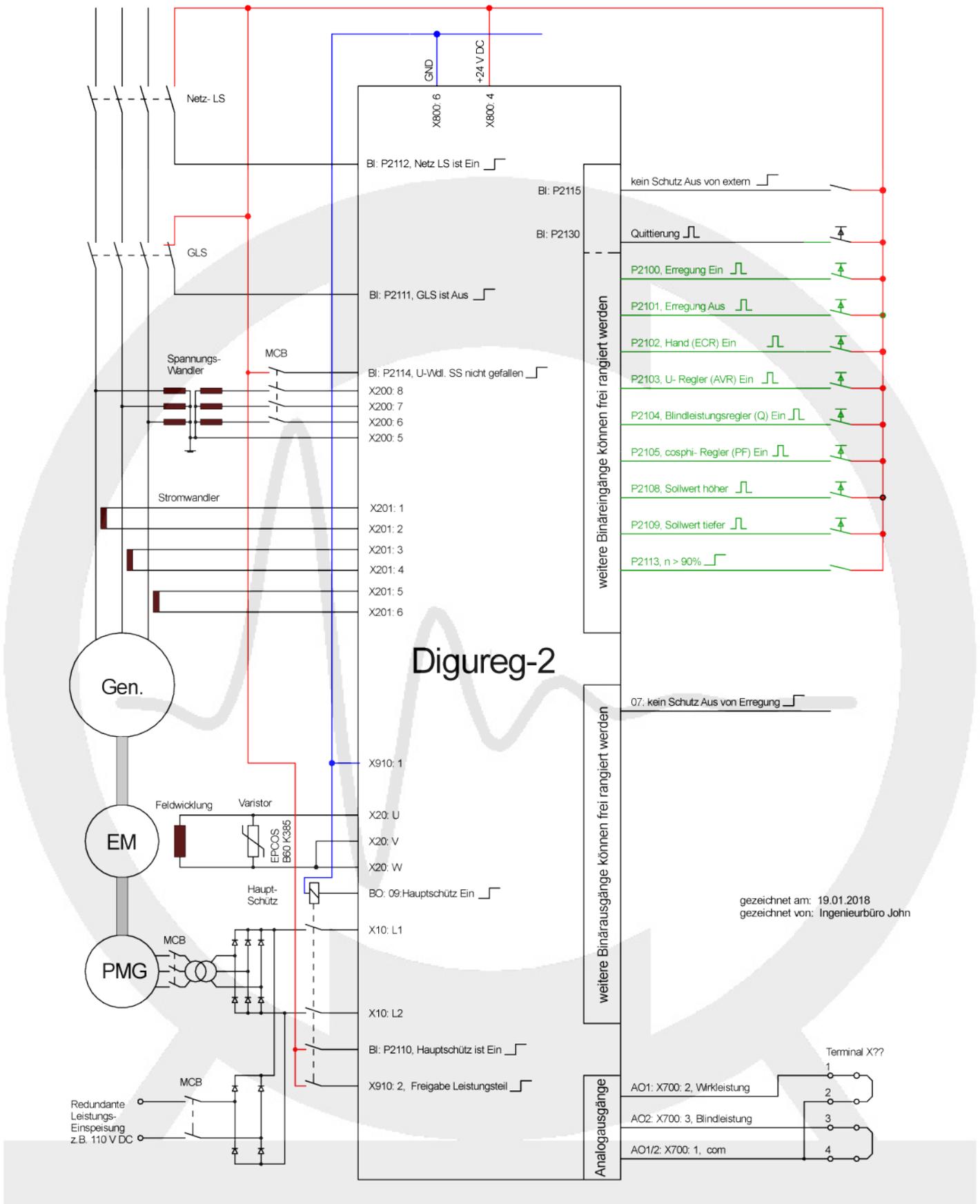
Zusammenfassend kann dazu ausgesagt werden, dass besonders die letzte Aufgabe relativ leichtgefallen ist. Das gesamte Hard- und Software- Konzept des Digureg-2, einschließlich des kostenlos zur Verfügung gestellten Inbetriebnahme- Tools enthalten Funktionen und Hilfen, die zum Teil in den Kompakterregergeräten anderer Hersteller nicht vorhanden sind.

Ob es sich nun dabei um die Einhaltung der exakten Signalunterschiede von Kommando- und Status- Signalen, die integrierte Ein-/Aus- Logik, die Möglichkeit der Gegenerregung bei Kommutator- Maschinen, die große Anzahl verfügbarer Analogausgänge und die Variations- Vielfalt bei der Einbindung des Digureg-2 in ein auf SIMATIC S7 basierendes Bus- Systems handelt.

Damit grenzt sich der Digureg-2- Kompakterreger deutlich von den aus Einzelkomponenten aufgebauten RG3- Erregersystemen sowie den Kompakterregern der Fremdfabrikate ab und die Entscheidung eines Projektanten, sich für ein Erregersystem für eine geplante Neu- oder Retrofitanlage festzulegen, dürfte unter diesen Fakten relativ einfach sein.

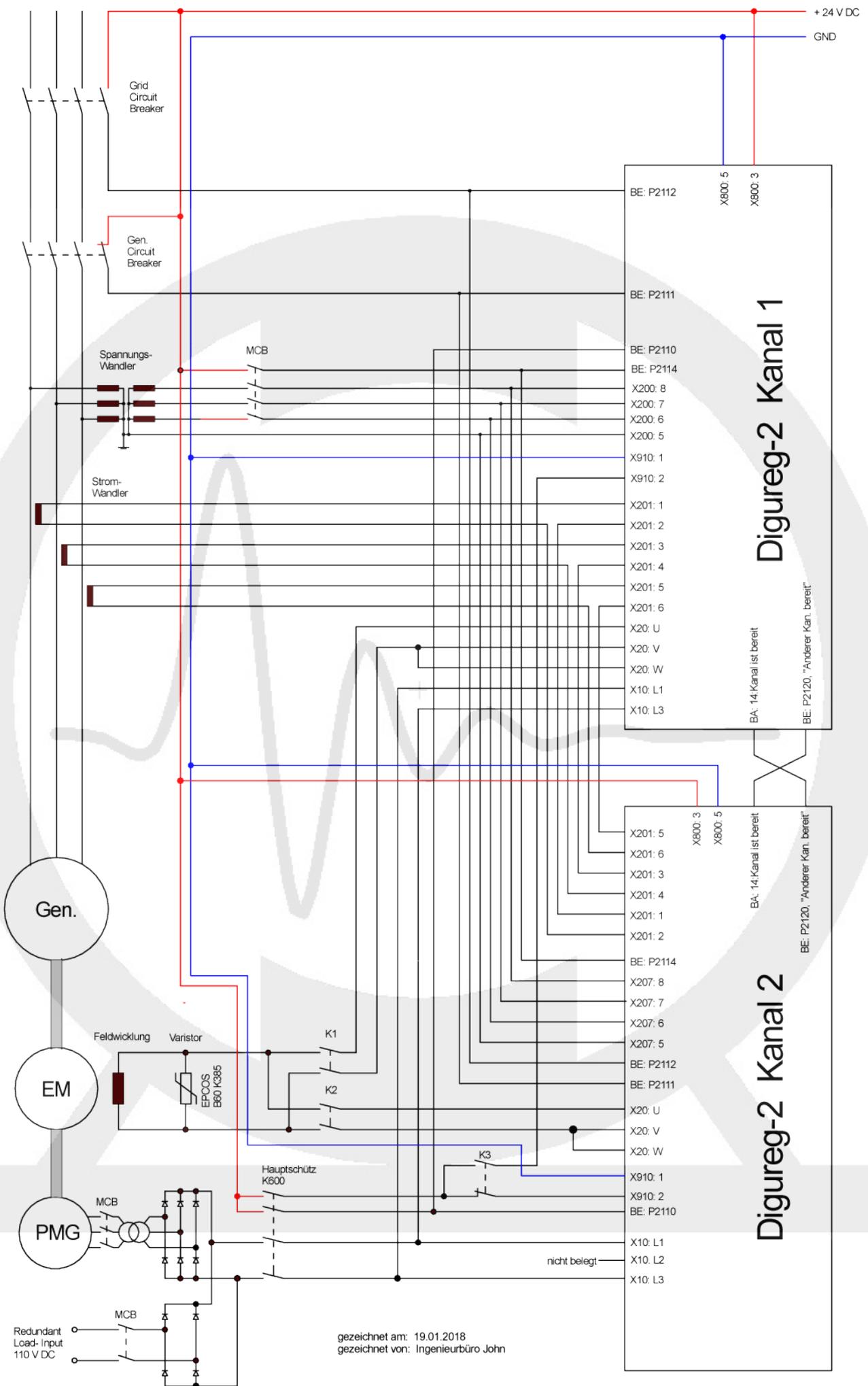
3.12. Anschlussbeispiele in Minimalkonfiguration für ein Single- und ein redundant ausgeführtes Digureg-2 Erregersystem

Nachfolgend werden Anschlussbeispiele in Minimalkonfiguration dargestellt. Wenn bei der Projektierung von Digureg-2- Erregersystemen die nachfolgenden Anschluss- Regeln in Single- oder redundanten Strukturen eingehalten wird das Erregersystem bei korrekter Parametrierung und Anpassungs- Optimierung der einzelnen im Digureg-2 enthaltenen Reglern an die Gesamtanlage, sofort und fehlerfrei funktionieren.

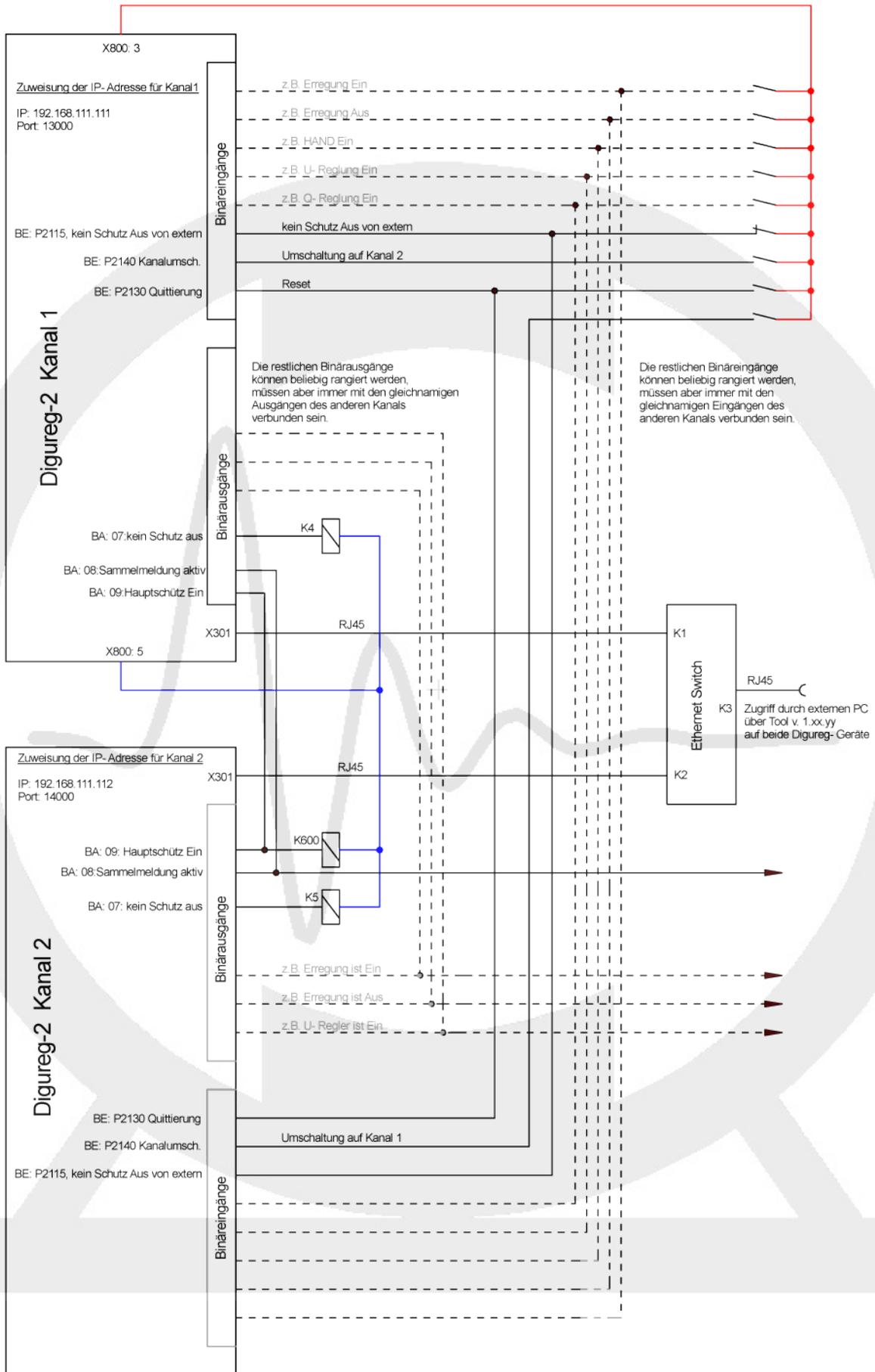


Das Anschluss- Beispiel zeigt das korrekten Designs einer Minimalkonfiguration für die Anschlussbelegung eines Erregersystems mit dem Kompakt- Erregergerät Digureg-2. Die grün dargestellten binären Eingangssignale können dem Digureg-2 über die entsprechenden Hardware- Eingänge oder alternativ über den Profibus zugeführt werden. In diesem Fall müssen die gleichnamigen Hardware- Eingänge nicht beschaltet und in der Software als "nicht benutzt" rangiert werden.

Voraussetzung für ein korrektes Arbeiten des Digureg-2 Erregersystems ist die Einhaltung der vom Gerät erwarteten Signalformen für die Befehls- oder Kommandosignale sowie für die Statussignale. Alle Befehls- oder Kommandosignale müssen eine Impulsform von 0,5 - 2,0 s Dauer aufweisen. Die Statussignale sind Dauersignale, deren Signalpegel dem jeweiligen Signal- Status entsprechen.

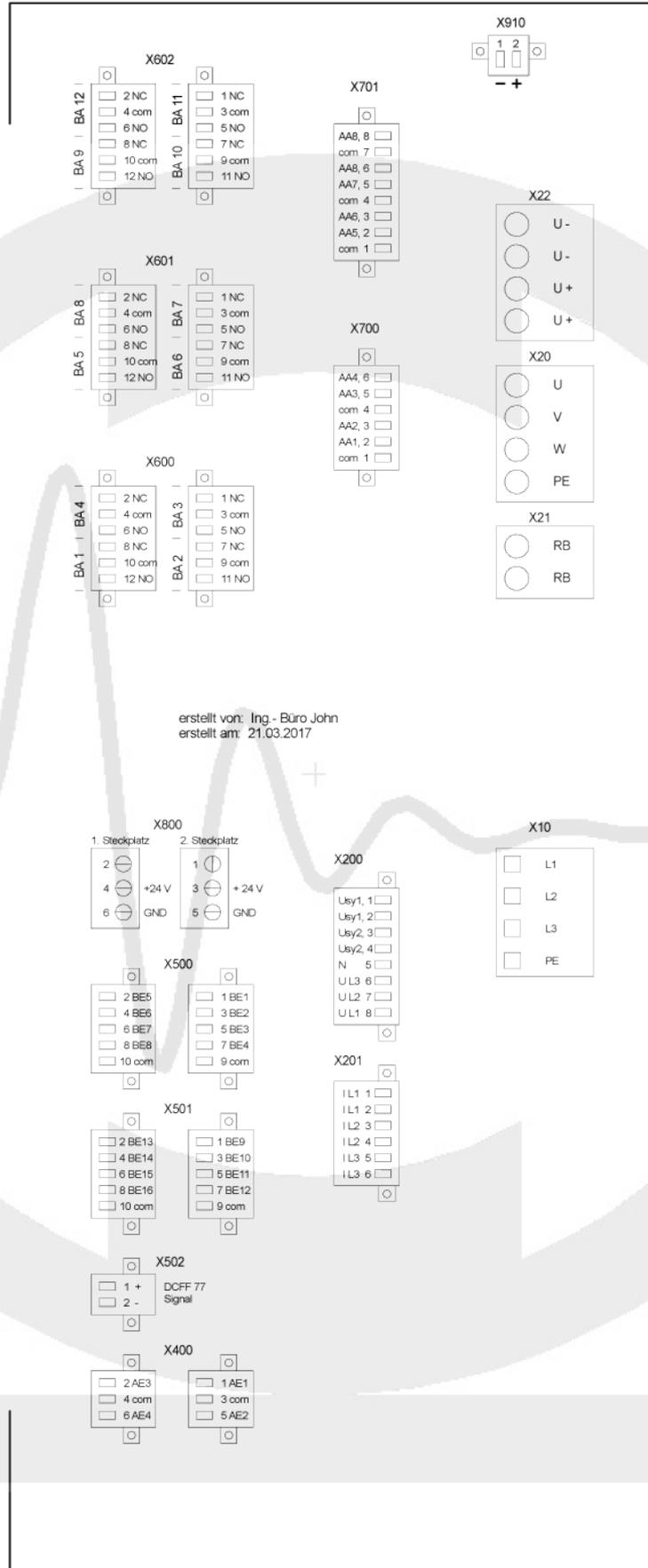


Anschlussbeispiel einer Minimalkonfiguration für ein redundantes Erregersystem mit Digireg-2, Abbildung 1/3



gezeichnet am: 19.01.2018
gezeichnet von: Ingenieurbüro John

Geräte- Vorderseite, Blick auf die Geräte- Unterseite



Geräte- Vorderseite, Blick auf die Geräte- Oberseite

DIGUREG-2

