

Wirtschaftlichkeit durch Netz-Neugestaltung

## Modernisierung der Stromversorgung von drei Autofabriken

Network restructuring enhances efficiency  
Modernizing the power supply in three automobile plants

Hauptanliegen der Verfasser ist es, zu zeigen, dass bei umfangreichen Sanierungen und Modernisierungen in einem Netz, eine grundsätzliche Änderung der Netzstruktur und der Spannungsebenen erhebliche wirtschaftliche und technische Vorteile bringen kann. Voraussetzung ist die Suche nach kreativen, auch unkonventionellen Lösungen, ohne feste Bindung an bestehende betriebliche und strukturelle Vorgaben (Visionen der Netzgestaltung).

### SUMMARY OF THE REPORT

The main message in the article is showing how comprehensive upgrading and modernization of a network, involving fundamental changes to the network structure and to the voltage levels, can bring substantial benefits both in terms of efficiency and in a technical context. This necessitates looking for creative and even unconventional solutions, without being bound by existing operational and structural specifications (visions of network structure).

Die Verfasser beschreiben die Situation und Planung der elektrischen Versorgung dreier Industriernetze mit den Lastspitzen von 200 MW, 120 MW und 100 MW eines Automobilherstellers.

Die wesentliche Veranlassung war, dass die grundsätzlichen Anforderungen nach

- übersichtlicher Betriebsweise
- Automatisierbarkeit des Netzbetriebes
- Personen- und Anlagensicherheit
- Kurzschlussbelastbarkeit der Betriebsmittel

mit den über lange Jahre gewachsenen Netzstrukturen nicht mehr einwandfrei erfüllt werden konnten. Im einzelnen ergaben sich als erschwerend u.a.

- erhöhte Wartungsarbeiten und Revisionskosten
- problematische Ersatzteilbeschaffung
- Ersatz älterer Hochspannungs-Ölkabel aus Umweltschutzgründen
- Erweiterung von Altanlagen: Hohe Kosten, falls baulich überhaupt möglich.

Der beschriebenen Planung vorausgehende Untersuchungen durch die VW Kraftwerk GmbH (VWK) für den betrachteten Zeitraum (bis etwa 2010) über einen schrittweisen Ausbau der Netze je nach den aufkommenden Erfordernissen auf der Basis der bestehenden Versorgungssituation, zeigten dass eine »1:1«-Erneuerung der Netze technisch nicht ohne weiteres möglich und wirtschaftlich mit erheblichen Aufwendungen verbunden ist.

Angesichts der hohen Investitionssummen stellte sich die Frage nach anderen Lösungsmöglichkeiten. Die Zielsetzung dabei musste die Suche nach neuen, einfachen Netzstrukturen (Netzarchitektur) abgelöst von dem über Jahrzehnte

gewachsenen Netzaufbau (Istnetz) sein.

Mit Rücksicht auf eigene Personalprobleme entschloss sich die VWK zur Vergabe der Planungsaufgaben an eine externe Planungsabteilung, da

- die eigene Planungsabteilung hauptsächlich mit Detailplanungen (operative Planung) ausgelastet ist und entlastet werden sollte und außerdem
- externe Netzplaner bei strategischen Planungen an die in der Vergangenheit gefällten operativen Entscheidungen nicht so streng gebunden sind.

Voraussetzung war die enge Zusammenarbeit aller Beteiligten bei der Betrachtung von internen und externen Planungsideen, sowie eine gemeinsame Akzeptanz ausgewählter Lösungen und der Erfahrungsaustausch.

### Aufgabenstellung und durchgeführte Arbeiten

Zur Lösung der anstehenden Probleme wurden von der VWK in engem Teamwork zwischen der eigenen und der externen Netzplanungsabteilung eine klare Aufgabenstellung für eine umfassende Netzplanung ausgearbeitet. Diese bestand aus folgenden Punkten:

#### Umfassende Netzdokumentation (Visualisierung)

Die Netzdokumentation war eine wichtige Grundlage für die Netzanalyse und alle Planungsarbeiten. Dafür wurden Bestandspläne (M 1:500), Prinzipschaltpläne und Übersichtspläne (lageähnliche Darstellung der Kabeltrassen und Stationen) aktualisiert bzw. neu erstellt. Die lageähnliche Darstellung der Netze, einschließlich der Lage der Lastschwerpunkte, war eine wesentliche Hilfe bei den Planungsarbeiten.

Die Prinzipschaltpläne und Übersichtspläne mit den elektrischen Daten wurden mit dem Programmsystem Sincal (Siemens Network Calculation) aufgenommen.

Darüber hinaus wurden zusätzliche planungsrelevante Daten, z.B. derzeitige Belastung, erforderliche Versorgungszuverlässigkeit, Lage und Größe möglicher neuer Abnehmer, Alter und der Zustand der Schaltanlagen, sowie die verfügbaren Stationsstandorte usw. bei den Planungen berücksichtigt.



*Automobilwerke verfügen über ausgedehnte eigene Stromversorgungsnetze, die zuverlässig und wirtschaftlich betrieben werden müssen*

### Netzanalyse

Das Betriebsverhalten der Netze wurde soweit notwendig, mit Lastfluss- und Kurzschlussberechnungen untersucht, um im Netz vorhandene Schwachstellen zu erkennen. Weitere intensivere Netzberechnungen wurden zunächst nicht durchgeführt, da die optimale Lösung überwiegend durch die Gegenüberstellung von mehreren Varianten ermittelt werden musste. Erst nach Prüfung der Realisierbarkeit des ausgewählten Konzeptes in mehreren Stufen waren am Ende der Planungsarbeiten sämtliche Lösungsansätze durch Netzberechnungen zu verifizieren.

Die Analyse der Netzsituation, z.B. Einspeisesituation und Netzformen zeigten, dass die über lange Zeit gewachsenen Netze z.T. eine relativ komplizierte Netzstruktur aufweisen.

In einer Lastanalyse wurden die bestehende Belastung und die zukünftige Entwicklung (Zuwachs oder Reduzierung) geschätzt. Es ergab sich, dass die Werksnetze partiell erheblich verstärkt werden müssen.

### Netzgestaltung (Kriterien, Visionen)

Als grundsätzliche Voraussetzungen für alle Planungsvarianten wurden folgende Kriterien festgelegt:

- sehr hohe Anforderungen an die Versorgungszuverlässigkeit
- Sofortreserve bei Kabel- und Transformatorfehlern
- hohe Verfügbarkeit, schnelle Fehlerortung und Behebung
- klare Schutzkonzeption: schnelle und definierte Fehler-Abschaltung
- Automatisierbarkeit des Netzbetriebes
- optimale Wirtschaftlichkeit: Ge-

ringer Kapitaleinsatz, ausreichendes Ergebnis

- einfache Netzform: Übersichtliche Betriebsweise,
- flexible Anpassung an Lastentwicklung
- Einbeziehen strenger Umweltschutzvorgaben.

Die wesentliche Arbeit bestand somit aus dem Entwurf mehrerer Varianten neuer Netzstrukturen und der Gegenüberstellung dieser. Selbst unkonventionelle Lösungen, die das bestehende Netz komplett in Frage stellten, waren kein Tabuthema (Visionen). Bei dieser Aufgabenstellung waren besonders die Kreativität und Erfahrung des Planers gefragt. Computerunterstützte Planungssysteme konnten dabei keine wesentliche Unterstützung geben.

Die sich daraus ergebende Vielzahl von Varianten hinsichtlich Spannungsebenen und Netzfor-



men, war durch intensive Diskussion mit allen Beteiligten auf zwei Netzvarianten je Werk zu reduzieren.

#### Wirtschaftlichkeit entscheidet

Mit technisch-wirtschaftlichen Netzuntersuchungen wurden diese Varianten hinsichtlich Betriebsverhalten und Kostenaufwand bewertet und dem »1:1«-Ausbau gegenüber gestellt. Voraussetzung für einen Kostenvergleich und die Auswahl einer Planungsvariante war, dass alle Varianten hinsichtlich ihrer Betriebsbedingungen und technischen Eigenschaften vergleichbar sind.

Nicht in Kosten auszudrückende Eigenschaften der Varianten, z.B. übersichtlichere Netzkonfiguration, Automatisierungsfreundlichkeit, wurden intensiv besprochen und bei der Variantenauswahl berücksichtigt.

#### Realisierungsschritte

Nach der gemeinsamen Entscheidung für eine Variante wurden die detaillierte Planung der Ausbauschritte und die Auswahl der Betriebsmittel durchgeführt, sowie die erforderlichen temporären Ausbaumaßnahmen geplant, um den Betrieb während der Netzbauaumaßnahmen zu sichern. Dabei war von großem Vorteil, dass bei den ausgewählten Varianten durch die Einführung einer neuen Spannungsebene, eine von dem bestehenden Netz »entkoppelte« Realisierung gegeben ist. Dieser Teil der Planung ist nicht Bestandteil des Aufsatzes.

#### Gemeinsame Problematik der Netze

Die Basisdaten der drei Werksnetze sind in *Tafel 1* dargestellt.

#### 6-kV-Verteilungsnetze

Die Kurzschlussleistung im 6-kV-Verteilungsnetz ist sehr hoch, der Ersatz alter Anlagen mit hoher Kurzschlussleistung (60 kA) entsprechend teuer. Die vorhandene umfangreiche 6-kV-Spannungsebene kann jedoch mittelfristig nicht aufgegeben werden. Es muss deshalb als Planungsziel versucht werden, anstehende Kurzschlussleistung zu verringern, d.h. durch Aufteilung der großen Stationsleistungen zu kleineren Einspeiseleistungen in das 6-kV-Netz - unter Beibehaltung der Versorgungssicherheit - zu kommen. Durch die Verlagerung

**Tafel 1**

	Werk 1	Werk 2	Werk 3
Gesamtlast	200 MW	120 MW	100 MW
Spannungsebenen	110/50/6 kV	110/60/6 kV	110/30/6 kV
Eigenerzeugung	2 x 80 MW und 2 x 160 MW	20 bis 50 MW	keine
Anzahl der UW	2 x 110/50 kV 4 x 50/6 kV	1 x 110/60 kV 1 x 110/6 kV 2 x 60/6 kV	1 x 110/30 kV 4 x 30/6 kV
Alter der Anlagen	ab 1938	ab 1958	ab 1953

*Tafel 1. Basisdaten der drei Werksnetze*

kleinerer 6-kV-Einspeisungen in die Lastschwerpunkte werden auch kürzere Übertragungswege im 6-kV-Netz erreicht. Diese Strategie hat Einfluss auf die überlagerten Spannungsebenen.

#### Einspeisespannung 110 kV und Zwischenspannungen (60 kV, 50 kV, 30 kV)

Die Anlagen der vorhandenen Zwischenspannungen sind überaltert, z.T. überlastet, nicht erweiterbar und verursachen hohe Kosten für die Wartung. Eine entsprechende Verstärkung der Zwischenspannungen erfordert einen zu hohen Kostenaufwand. Die Strukturverbesserungen für das 6-kV-Netz hätten weitere Mehrkosten zur Folge gehabt.

Es mussten deshalb Lösungen gesucht werden, bei denen entweder die überlasteten Zwischenspannungen soweit möglich durch 110 kV ersetzt werden konnten, oder eine neue, kostengünstigere Zwischenspannung eingeführt wurde. Die neue Zwischenspannung sollte so gewählt werden, dass auf weite Sicht auch eine kostengünstige Direktumspannung auf Niederspannung möglich wird, als Ersatz für die zunehmend älter werdende 6-kV-Ebene.

#### Einführung von 20 kV

Die aufgrund dieser Überlegungen vorgenommenen Planungen führten in allen drei Werken zur Einführung von 20 kV als Zwischenspannung mit der Option der alleinigen Verteilungsspannung auf weite Sicht. Für diese Lösung spricht auch, dass aus Produktionsgründen mit erheblichen Umstrukturierungen in der 6-kV-Ebene zu rechnen ist und somit auch für die zu erwartenden Leistungen die Einführung von 20 kV als flexible leistungsfähige Spannungsebene sowohl als Zwischenspannung als auch als Ver-

teilungsspannung sinnvoll wird.

Die 6-kV-Ebene wird solange beibehalten, bis Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit dieser Spannungsebene gegeben sind. Neu zu installierende Einspeisungen in das Niederspannungsnetz sollten aber möglichst direkt aus dem 20-kV-Netz stattfinden. Soweit vorhandene 6-kV-Motoren von einer Umstellung betroffen sind, sollte eine Lösung mit Blocktransformatoren aus dem 20-kV-Netz überlegt werden. Bei neuen Hochspannungsmotoren bietet die Lösung mit Blocktransformatoren größere Flexibilität bei der leistungsabhängigen Spannungswahl.

Die aufgrund technisch-wirtschaftlicher Bewertung gewählten Varianten ergaben folgende grundsätzlichen Lösungen in den einzelnen Werken:

Werk 1: Ersatz des 50-kV-Netzes durch 110 kV; Einführung der Zwischenspannung 20 kV und Umspannung 20/6 kV

Werk 2: Ersatz des 60-kV-Netzes durch 20 kV und Umspannung 20/6 kV

Werk 3: Ersatz des 30-kV-Netzes durch 20 kV und Umspannung 20/6 kV.

Die gewählten Netzkonzepte sind Lösungen, deren Realisierung längere Zeit erfordern wird. Die Anpassung vom Ist-Zustand in Einzelschritten war Bestandteil der Netzplanung. Darüber hinaus ist eine laufende Aktualisierung der Planung aufgrund der zeitlichen und lokalen Gegebenheiten zu empfehlen.

#### Planung in den einzelnen Werken

Werk 1, Belastung 200 MW (*Bild 1*)  
Werk 1 wird aus den Kraftwerken  
• HKW West (2x160 MW, speist in das 110-kV-Netz) und

### Netztopologie Werk 1

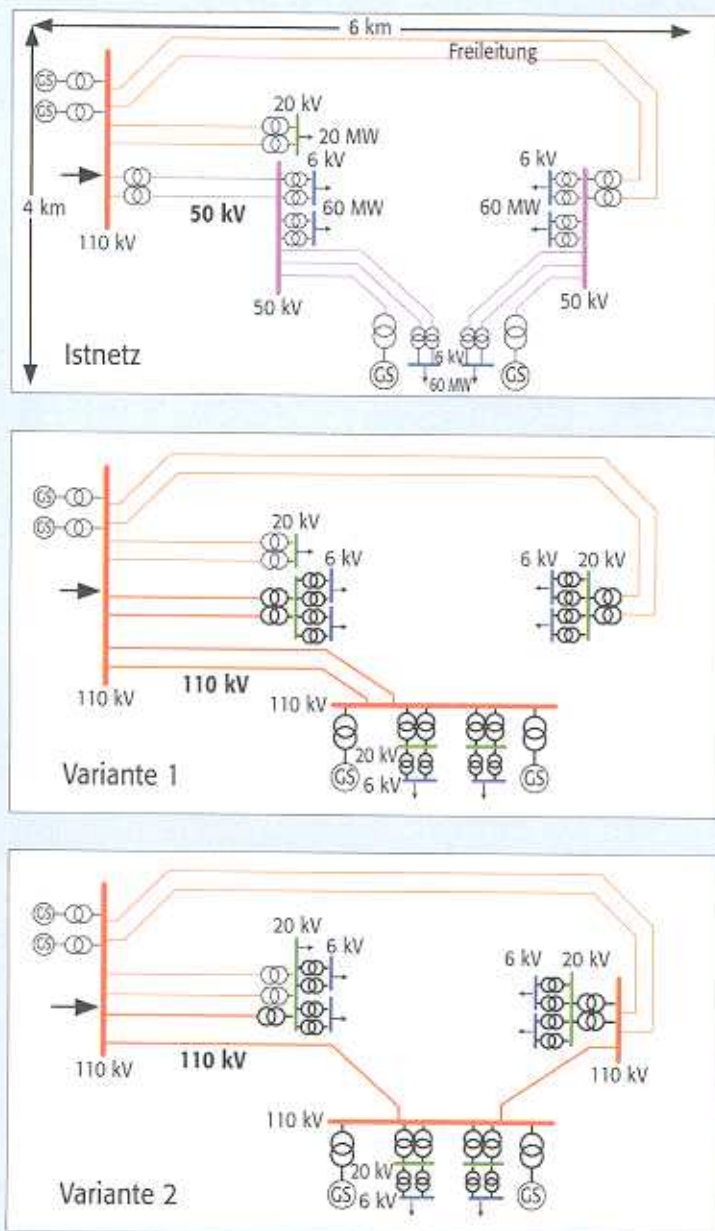


Bild 1. Werk 1, Varianten der Netztopologie

Tafel 2

	Variante »1:1« %	Variante 1 %	Variante 2 %
Schaltanlagen (110 kV bzw. 50 kV)	100	50	68
Kabel (110 kV bzw. 50 kV)	100	43	28
Transformatoren	100	54	50
Schaltanlagen (20 kV)	0	100	100
Gesamtkosten	100	53	54

Tafel 2. Prozentualer Kostenvergleich der Varianten für Werk 1

- Kraftwerk Süd (2x80 MW, speist in das 50-kV-Netz) und
- aus dem überlagerten 110-kV-Netz des EVU eingespeist.

In den Lastzentren sind zwei 110/50-kV-Umspannwerke installiert. Die Einspeisung in die ausgedehnten 6-kV-Netze wird durch drei 50/6-kV-Umspannwerke mit je 60 MW Belastung vorgenommen. Für einen Sonderabnehmer wurde ein 110/20-kV-Umspannwerk (Belastung 20 MW) errichtet. Die Eigenbedarfs-Anlage des HKW West wird über einen 50/10-kV-Umspanner versorgt. (in Bild 1 nicht dargestellt). Der mit der Erweiterung der Produktion zu erwartende Lastzuwachs bringt die über 40 Jahre alten Betriebsmittel an die Grenze der Belastbarkeit. Ein weiterer Ausbau der Anlagen war (das zeigte eine bereits vorher durchgeführte Untersuchung) mit technischen und wirtschaftlich vernünftigen Mitteln nicht möglich. Deshalb wurde die Planung einer »1:1«-Erneuerung nicht weiter verfolgt, die Kosten dieser Maßnahmen lagen bereits vor.

Als Lösung boten sich mehrere Varianten an, in denen die 50-kV-Ebene durch die leistungsstarke 110-kV-Netzebene ersetzt wurde. Darüber hinaus wurde entsprechend den oben gemachten Überlegungen für die z.T. erforderliche Entlastung der vorhandenen 6-kV-Netze und die flexiblere Verteilung der elektrischen Energie eine 20-kV-Netzebene eingeführt. Diese Spannungsebene soll außerdem die hohen Kurzschlussleistungen in den 6-kV-Anlagen verringern und die Option für den Anschluss neuer Verbraucher offen halten.

Nach ausführlichen Diskussionen wurden zwei Varianten ausgewählt und dem »1:1«-Ausbau gegenübergestellt (Tafel 2). Die für den Variantenvergleich ermittelten Kosten sind in Tafel 2 nur prozentual aufgelistet. Gewählt für den Ausbau wurde Variante 2.

### Werk 2, Belastung 120 MW (Bild 2)

Werk 2 wird aus dem eigenen Kraftwerk und aus einem 110/60-kV-Umspannwerk, das in unmittelbarer Nähe des Werkes liegt, gespeist. Die elektrische Leistung aus dem Umspannwerk wird über vier 60-kV-Freileitungssysteme in eine 60-kV-Schaltanlage übertragen von der zwei 60/6-kV-Umspannwerke an-

gespeist werden. Die Leistungsübertragung auf dem Werksgelände übernehmen vier 60-kV-Ölkabel.

Die zentrale 60-kV-Schaltanlage, die 60-kV-Ölkabel und die Hochspannungstransformatoren (110/60 kV und 60/6 kV) sind ebenso wie die umfangreichen 6-kV-Schaltanlagen aufgrund ihres Alters zu erneuern. Voruntersuchungen zeigten, dass auch in diesem Werk die Beibehaltung und entsprechende Erweiterung der drei Spannungsebenen (110, 60, 6 kV) technisch wirtschaftlich nicht zu vertreten sind. Zusätzlich wurde die Spannungswahl für die Leistungsübertragung (60 oder 110 kV) durch den Ausfall eines der vier 110/60-kV-Transformatoren beeinflusst.

Die Erweiterung der Produktion hatte 1997 zu einer erheblichen Laststeigerung im Süden des Werkes geführt. Da die Übertragungsfähigkeit der vorhandenen 6-kV-Kabel ausgeschöpft war, wurde dort ein neues Umspannwerk 110/6 kV errichtet (dieser Netzteil wurde in allen Varianten unverändert beibehalten).

Auf der Basis der vorgenannten Lösung wurde in Variante 1 die ausschließliche Versorgung des Werkes über 110/6 kV geplant. Die Höhe der Last (50 MVA je Dreiwicklungs-Transformator) und die notwendige Versorgungssicherheit (Parallelbetrieb für Momentanreserve) erforderten wegen der hohen Kurzschlussleistung den Einsatz von Drosselspulen.

Deshalb und wegen der oben genannten Überlegungen wurden auch mehrere Varianten mit 20 kV als zukünftige flexiblere Zwischen- und Verteilungsspannung entworfen und untersucht.

Nach ausführlichen Diskussionen wurden Variante 1 (110/6 kV) und Variante 2 (110/20/6 kV) gegenübergestellt (Bild 2). In beiden Varianten entfällt die 60-kV-Ebene.

Die für den Variantenvergleich ermittelten Kosten sind in Tafel 3 prozentual aufgelistet. Gewählt für den Ausbau wurde Variante 2

#### Werk 3, Belastung 100 MW (Bild 3)

Werk 3 wird ausschließlich aus dem EVU-Netz über zwei Einspeisepunkte versorgt:

- 110/30-kV-Umspannwerk im Osten und
- HKW (als Kraftwerk 1991 stillgelegt, über fünf 30-kV-Kabel aus dem außerhalb des Werkes liegenden EVU-Umspannwerk gespeist).

### Netztopologie Werk 2

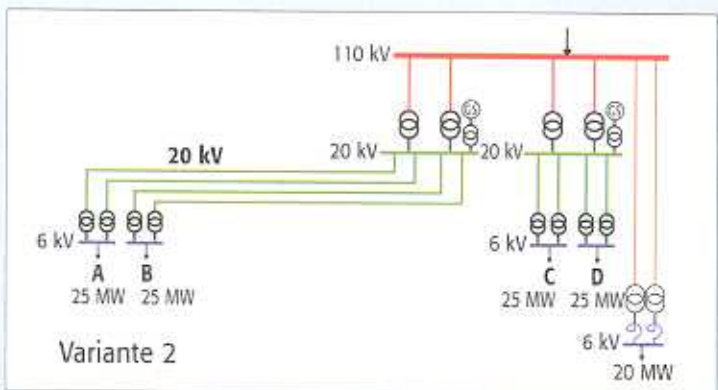
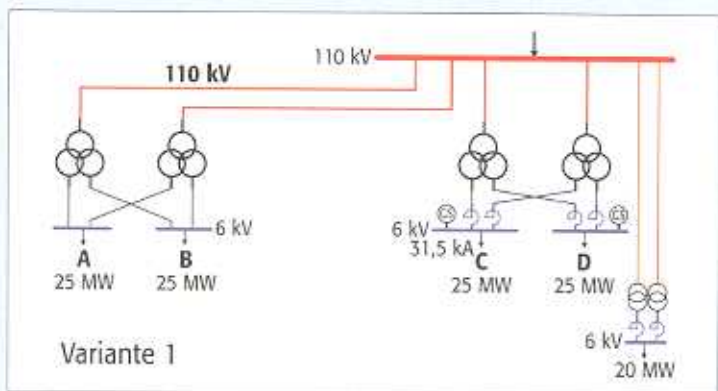
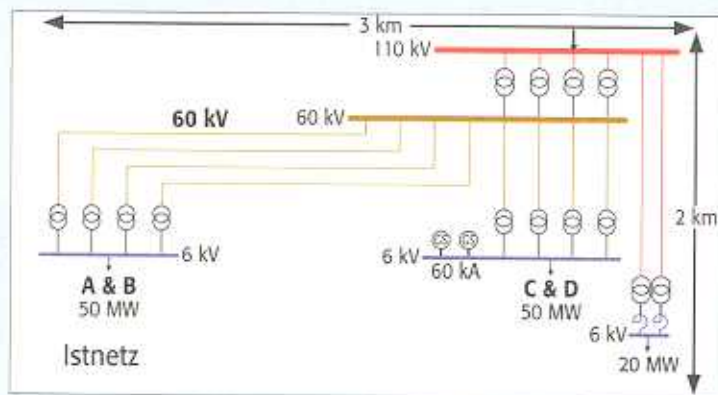


Bild 2. Werk 2, Varianten der Netztopologie

Tafel 3

	Variante »1:1« %	Variante 1 %	Variante 2 %
Schaltanlagen (110 kV bzw. 60 kV)	100	28	28
Schaltanlagen (20 kV)	0	0	100
Kabel (110 kV, 60 kV bzw. 20 kV)	100	50	20
Transformatoren	100	60	30
Gesamtkosten	100	48	43

Tafel 3. Prozentualer Kostenvergleich der Varianten für Werk 2

## Netztopologie Werk 3

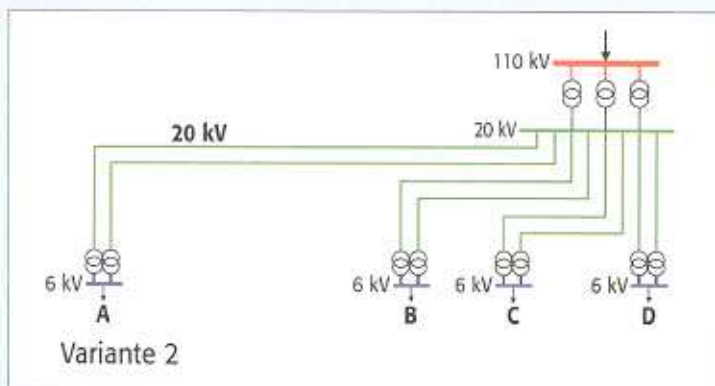
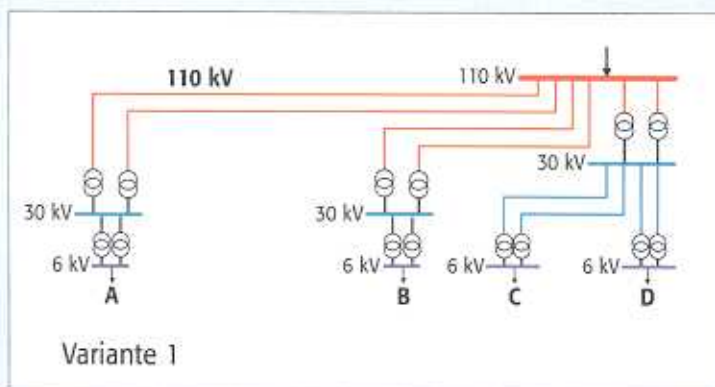
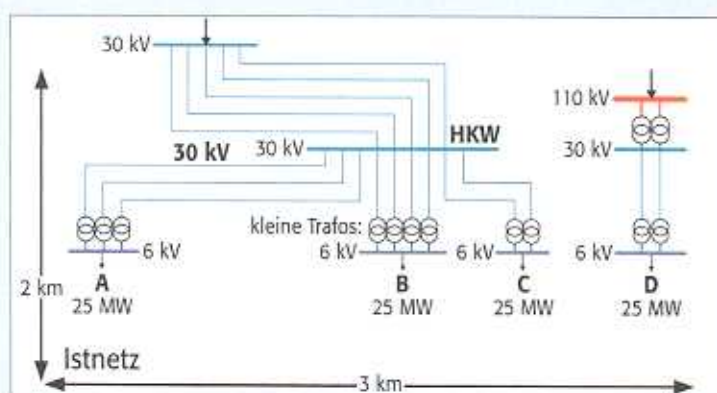


Bild 3. Werk 3, Varianten der Netztopologie

Tafel 4

	Variante »1:1« %	Variante 1 %	Variante 2 %
Schaltanlagen (110 kV)	100	90	60
Schaltanlagen (30 kV oder 20 kV)	100	65	50
Kabel (110 kV, 30 kV bzw. 20 kV)	100	125	42
Transformatoren	100	132	33
Gesamtkosten	100	110	47

Tafel 4. Prozentualer Kostenvergleich der Varianten für Werk 3

Das 6-kV-Netz wird über vier 30/6-kV-Umspannwerke versorgt.

Die Stilllegung des Kraftwerkes, der Zustand und Alter der Betriebsmittel sowie die Komplexität des Netzes erfordern dringend eine Neugestaltung.

Die 6-kV-Schaltanlagen der Umspannwerke sind für eine Kurzschlussfestigkeit von 250 MVA ausgelegt. Ein Parallelbetrieb der 30/6-kV-Transformatoren ist aufgrund der hohen Kurzschlussleistung nicht möglich. Die Forderung nach Momentanreserve wird somit nicht erfüllt. Die 6-kV-Schaltanlagen sind auch aus Altersgründen zu erneuern.

Für die Neugestaltung des Netzes wurden die drei Spannungsebenen 110, 30 und 20 kV in mehreren Varianten berücksichtigt und davon zwei gewählt.

Die Verwendbarkeit von relativ neuen 30-kV-Kabeln in einem zukünftigen 20-kV-Netz war ein Vorteil zu Gunsten Variante 2.

Die für den Variantenvergleich ermittelten Kosten sind in *Tafel 4* prozentual aufgelistet. Gewählt für den Ausbau wurde Variante 2.

## Resümee der Planungsergebnisse

Die (visionäre) Auswahl auch unkonventioneller Varianten der Netzgestaltung ohne Bindung an bestehende Netzstrukturen mit hohem Änderungs- und Erneuerungsbedarf - aber unter Beachtung der gegebenen Einspeise- und Lastsituation - hat zu sehr günstigen Ergebnissen geführt. Voraussetzung war eine enge Zusammenarbeit des jeweiligen Betriebspersonals mit seiner lokalen Kenntnis der Situation und der externen Planungsabteilung, die unabhängig von internen Vorgaben nach neuen Lösungswegen suchen konnte.

Im vorliegenden Fall zeigte sich deutlich, dass das Festhalten an den vorhandenen Konzeptionen nicht immer zu optimalen Lösungen führt, andererseits aber für jedes Netz eine individuelle Lösung gesucht werden muss.

(30691)

edmond.petrossian@ptd.siemens.de

detlef.steiniker@volkswagen.de