

4 Zentrale Steuerungskomponente

Von übergeordneter Bedeutung im Gesamtkonzept des generischen Netzwiederaufbau-Systems – und bezüglich der Realisierung auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit – ist die "zentrale Steuerungskomponente", indem sie

- die einzelnen **Regel-Bedingungen** – als elementare Teile der generisch formulierten strategischen Vorgehensweise in der Wissensbasis – auswertet und somit die taktische Anpassung an das Netz und die aktuell dort vorliegende Situation übernimmt;
- dazu auf die jeweils erforderlichen **Dienstprogramme** zugreift, die ihrerseits die aus dem Prozeß gewonnenen netzspezifischen Informationen aufbereiten;
- aus den Ergebnissen der Dienstprogramme jeweils eine **logische Antwort** ableitet und diese an die Inferenzkomponente zurückliefert;
- gegebenenfalls über aktionsausführende Dienstprogramme (z.B. für Schaltungen im Netz) **operativ** in den Prozeß eingreift;
- für **Erklärungsfunktionen** zusätzlich detailliertere Informationen über die Erfüllung bzw. Nichterfüllung der jeweiligen Regel-Bedingung bereithält.

Funktional gesehen führt die zentrale Steuerungskomponente auf Basis der durch die Dienstprogramme eingeholten und aufbereiteten Prozeßinformationen sowie die Analyse der Netzkonfiguration und des jeweils aktuellen Zustandes eine umfangreiche, aber auch vollständige Fallunterscheidung durch.

Die **Ergebnisse** dieser Überprüfungen sind konkrete, das jeweilige Netz und die gegebene Situation betreffende Entscheidungen (Feststellungen oder einzelne Maßnahmen), die als entsprechende operative Handlungen ausgeführt bzw. in Auftrag gegeben werden und damit den Netzwiederaufbau vorantreiben.

Bild 4.1 zeigt die Integration der zentralen Steuerungskomponente in das Gesamtsystem.

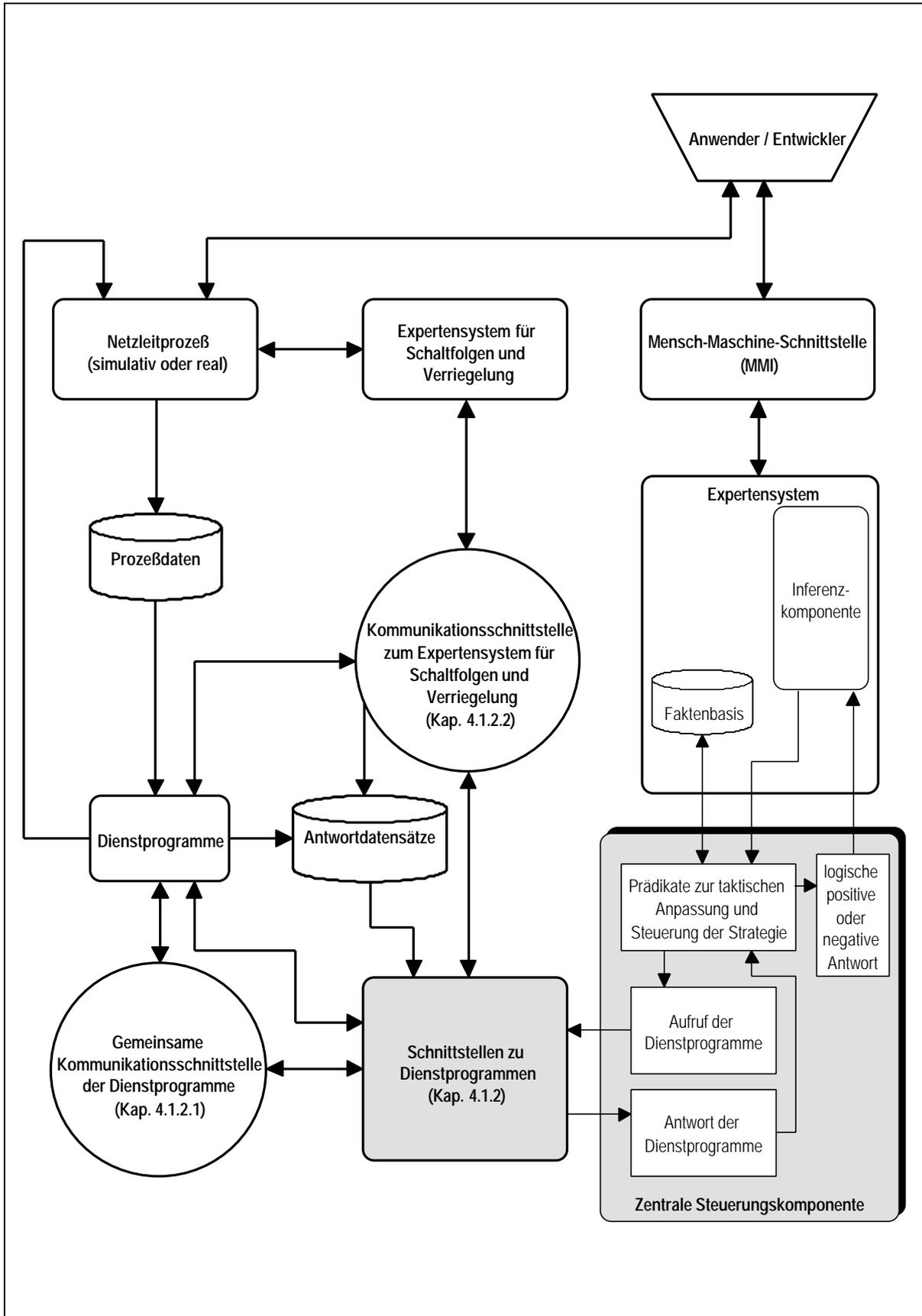


Bild 4.1: Integration und Funktionalität der zentralen Steuerungskomponente

Entsprechend der Vielfalt der Aufgaben sind die von der zentralen Steuerungskomponente zu verarbeitenden Informationen sehr umfangreich und von unterschiedlicher Art, so zum Beispiel:

- deskriptorförmige Verweise auf einzelne Felder oder Betriebsmittel (z.B. Einspeisungen);
- deskriptorförmige Ergebnisse von analytischen Dienstprogrammen (z.B. Liste der benötigten Schalthandlungen für die Herstellung einer topologischen Verbindung im Netz);
- numerische Werte (z.B. Verbraucherleistung oder Gruppennummern der topologisch zusammengeschalteten Netzbezirke);
- numerisch verschlüsselte Eigenschaften (z.B. aktuelle Zustände der einzelnen Einspeisungen);
- logische Werte zur Rückgabe an die Inferenzkomponente;
- Zwischenergebnisse, die in der **Faktenbasis** abgelegt und für weitere Entscheidungen herangezogen werden.

Entsprechend vielschichtig ist der erforderliche Informationsaustausch; für seine Abwicklung wurden unterschiedliche Schnittstellen implementiert, Bild 4.1.

In Bild 4.2 ist das Prinzip des Informationsflusses bei der Abarbeitung einer Regel-Bedingung dargestellt.

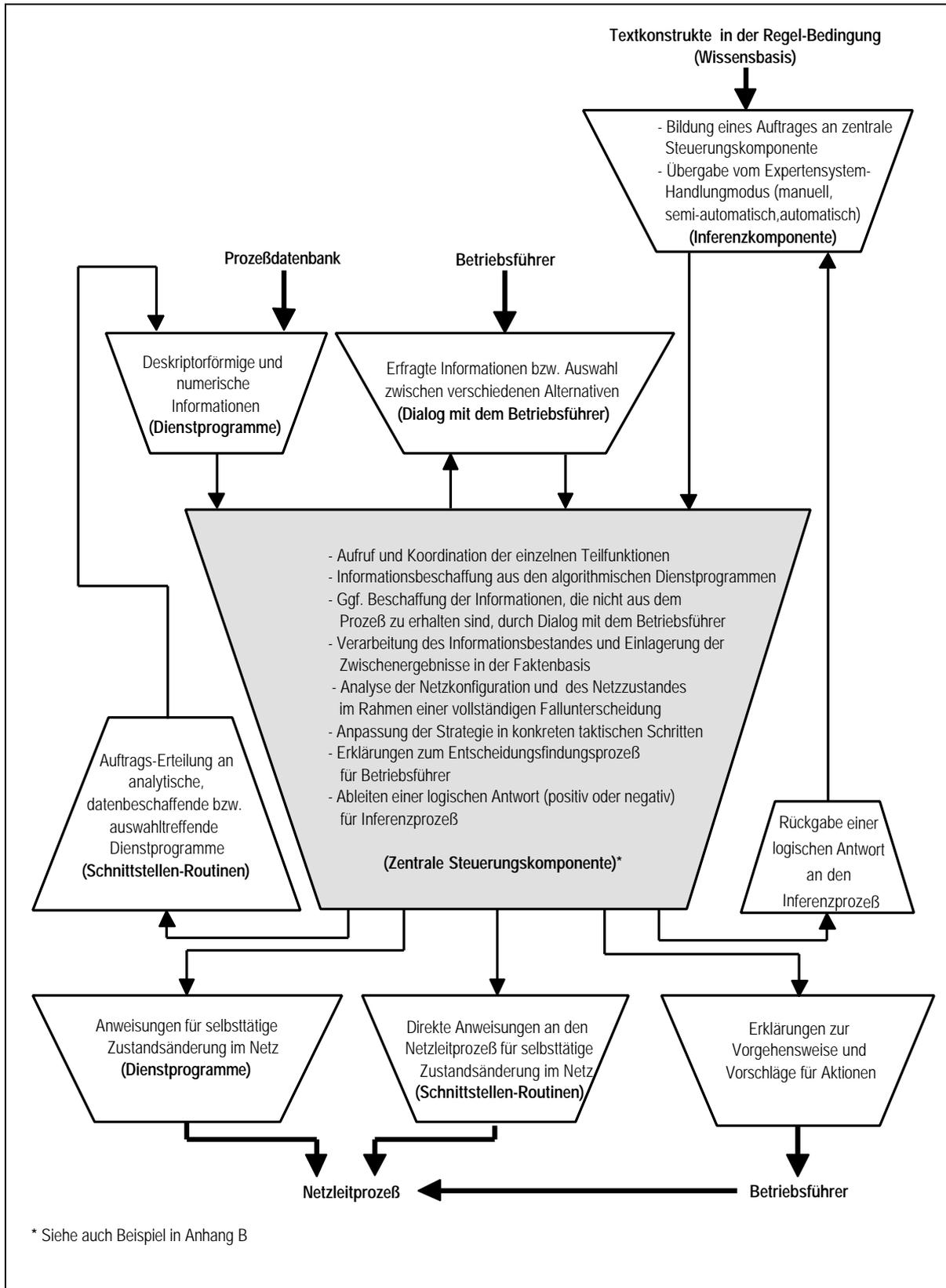


Bild 4.2: Informationsfluß bei der Abarbeitung einer Regel-Bedingung

4.1 Realisierungskonzept

Der erste Realisierungsansatz, die zentrale Steuerungskomponente wie die anderen Dienstprogramme in "Fortran" zu erstellen und damit die Grenze zwischen deklarativ bzw. konsekutiv programmierten Teilen des Gesamtsystems genau auf die Schnittstelle zwischen Inferenzkomponente und zentraler Steuerungskomponente zu legen hat ergeben, daß dies wegen der kombinatorischen Vielschichtigkeit mit überschaubarem Programmieraufwand nicht erreicht werden konnte. Daher wurde in einem zweiten Ansatz auch für die zentrale Steuerungskomponente die symbolverarbeitende Programmierung eingesetzt, wodurch bei immer noch sehr umfangreichem Programmaufwand eine im Vergleich deutlich kompaktere Lösung zustande gekommen ist. Hierbei wurden für die unterlagerte Auswertung der einzelnen Regel-Bedingungen jeweils zugehörige logische Prädikate (in "Prolog" [MPR-87]) implementiert. Im Vergleich zu einer konsekutiv formulierten Lösung ergeben sich insbesondere die folgenden Vorteile:

- Die Beziehungen der Symbole untereinander können ohne Einfluß auf die dahinter liegenden Abarbeitungsmechanismen formuliert werden. Die **Übersichtlichkeit** ist dadurch gewährleistet, daß die erstellten Prädikate in ihrem logischen Zusammenhang in Symbolform ohne spezifische Wertzuweisung für die jeweilige Problemlösung formuliert sind; ihre Abarbeitung erfolgt dann durch das in Prolog implementierte "Backtracking" [CLO-84] oder zusätzlich eingebrachte Steuerungs-Prädikate **selbsttätig**.
- Durch die Verwendung von **Rekursionen** bei der vollständigen Fallunterscheidung wird der Aufwand hinsichtlich des Programmcodes in Grenzen gehalten und zusätzlich die Nachvollziehbarkeit der Lösung erleichtert (siehe Erklärungskomponente in Kap. 6.2).
- Ein weiterer Vorteil dieses Konzeptes liegt darin, daß eine komplexe Schnittstelle mit der Inferenzkomponente vermieden wurde. Vielmehr werden die Prädikate von der Inferenzkomponente nach einer einheitlichen Vorgehensweise an Hand der Textkonstrukte in den Regel-Bedingungen **direkt** aufgerufen (Anhang B).

Einzigster Nachteil der Realisierung der zentralen Steuerungskomponente auf symbolverarbeitender Basis ist der damit verbundene Geschwindigkeitsverlust im Vergleich zur algorithmischen Programmierung. Dieses wurde im Hinblick auf die rasche Entwicklung der Rechner-Performanz hingenommen; selbst mit den zur Verifikation verwendeten betagten Workstations ergaben sich noch akzeptable Ausführungszeiten, vgl. Kap. 7.3.

4.1.1 Datenstrukturen

Zur Bereitstellung konkreter spezifischer Informationen übergeben die Dienstprogramme unterschiedliche Datensätze, deren Aufbau jeweils eindeutig vordefiniert ist [SPA-98]. Diese Vereinbarungen bezüglich der Struktur dieser Datensätze und der Entschlüsselung ihrer Inhalte werden für alle beteiligten Komponenten zentral festgelegt und verwaltet.

- **Statische Daten**, die sich während des Ablaufes nicht ändern und daher nicht zu Dateninkonsistenzen führen können, werden initial in die Faktenbasis (Bild 4.1) ausgelagert. Dies gilt auch für binäre Schlüssel für die Interpretation entsprechender numerischer Einträge in den Datensätzen der Dienstprogramme.
- **Dynamische**, vom momentanen Zustand des Netzes abhängige Datensätze werden jeweils nach Bedarf durch Auftrag an das entsprechende Dienstprogramm aktualisiert, und sie repräsentieren dann eine bestimmte Sicht auf das Netz. Diese Datensätze werden in einer Datei durchnummeriert zur Verfügung gestellt.
- Diese durchnummerierten Datensätze dürfen nur **einzeln** von der zentralen Steuerungskomponente aufgerufen werden, und zwar exakt mit dem der Vordefinition entsprechenden Format bezüglich Inhalt und Umfang. Damit wird eine zweifache Datenhaltung bezüglich der variablen Datensätze, die zur Dateninkonsistenz führen kann, soweit wie möglich vermieden. Mit diesem Konzept kann die **Aktualisierung** der Datensätze bei jeder einzelnen geschlossenen Teilentscheidung innerhalb der Auswertung einer Regel-Bedingung reibungslos mehrfach veranlaßt werden. Damit ist auch gewährleistet, daß vom generischen Netzwiederaufbau-System unbeabsichtigte **Änderungen** des Netzzustandes – bedingt etwa durch eigenwillige Vorgehensweise des **Betriebsführers** oder Ereignisse im Netz wie Schutzauflösungen – so rasch wie möglich vom generischen Netzwiederaufbau-System berücksichtigt werden können.

4.1.2 Schnittstellen

Für die **Kommunikation** mit den weiteren Systemkomponenten außerhalb des Expertensystems (Bild 4.1) und damit als **Bindeglied** zwischen den deklarativ in der zentralen Steuerungskomponente implementierten Prädikaten und den konsekutiv formulierten Dienstprogrammen wurden verschiedene Schnittstellen (Bild 4.1) zur Auftragserteilung und Bewältigung des notwendigen Informationsaustausches geschaffen, die nachfolgend kurz charakterisiert werden.

4.1.2.1 Schnittstellen zum gemeinsamen Kommunikationskanal der Dienstprogramme

Zusätzlich zu der vom spezifischen Netzwiederaufbau-Expertensystem [KRO-92] vorhandenen Prozeßdatenbank-Schnittstelle, über welche ein in GDL-Syntax formulierter Anfrage-Deskriptor durch ein Datenbank-Anfrageprogramm [KRO-92] beantwortet und mittels eines vorgegebenen Auswerte-Kriteriums in eine b-gische Antwort überführt wird, ermöglichen die in dieser Arbeit implementierten Schnittstellen über einen **gemeinsam genutzten Datenkanal** (Bild 4.1) eine **individuelle** Kommunikation mit jedem der Dienstprogramme, bei welcher z.B. auch numerische Werte, Listen oder Kombinationen daraus zulässig sind. Die jeweils vereinbarten Formate werden zentral verwaltet, siehe Kap. 4.1.1.

4.1.2.2 Kommunikation mit dem Expertensystem für Schaltfolgen und Verriegelung

Das integrierte Expertensystem für Schaltfolgen und Verriegelung [JU-96] stellt eine der Mensch-Maschine-Schnittstelle des für die Verifikation des Gesamtsystems verwendeten Trainingssimulators zugeordnete vorhandene Funktionalität dar und besitzt eine eigene Schnittstelle für die Kommunikation mit weiteren Programmen. Es übernimmt als Unter-Funktion des generischen Netzwiederaufbau-Systems die Sequenzierung der einzelnen Schalthandlungen bei der Herstellung topologischer Verbindungen im Netz sowie die Einhaltung der Verriegelungsbedingungen. Die erteilten Aufträge bestehen aus globalen Schaltbefehlen (z.B. für das beidseitige Zuschalten einer bestimmten Leitung), die Antwort besteht aus einer entsprechend den Verriegelungsbedingungen geordneten Liste von GDL-Deskriptoren für Einzel-Schaltmaßnahmen, welche an die zentrale Steuerungskomponente weitergeleitet wird.

4.1.2.3 Direkt aufrufbare Schnittstellen-Routinen

Hierbei werden die bestimmte externe Routinen **direkt**, d.h. nicht über den gemeinsamen Datenkanal angesprochen. Dies betrifft z.B.

- die von der Modellierung des Netzleitsystems im Trainingssimulator erstellte "Topologiedatei" mit der aktuell geschalteten Netz-Konnektivität;
- Dialoge mit dem Betriebsführer zur Auswahl von Betriebsmitteln;
- die autonome Ausführung von durch das generische Netzwiederaufbau-System vorgeschlagenen Schalthandlungen.

Im letzteren Fall werden von der zentralen Steuerungskomponente entsprechende GDL-Deskriptoren als Ereigniselemente gebildet und als Befehlsatz automatisch über die Schnittstelle an die Modellierung des Netzleitsystems weitergeleitet.

4.2 Abwicklung der einzelnen Aufträge aus den Regel-Bedingungen

Die aus den Dienstprogrammen gewonnenen Resultate dienen dann als **Symbolinhalte** für die Auswertung der in der zentralen Steuerungskomponente implementierten generischen Prädikate, die im Kern einen sehr komplexen Fallunterscheidungsmechanismus darstellen. Wesentliche Aspekte der Realisierung dieser Fallunterscheidungen werden nachfolgend anhand der Struktur der Wissensbasis erläutert.

Die in Kap. 2.1 als Übersicht sehr vereinfacht dargestellte allgemeine Struktur der generischen Wissensbasis kann bezüglich der Umsetzung der strategischen Vorgehensweise in einzelne Ausführungsschritte zerlegt werden, die von der zentralen Steuerungskomponente vollzogen werden. Dazu werden in den folgenden Abschnitten zuerst die strategischen Grundschrirte betrachtet, um jeweils anschließend darauf aufbauend eine detaillierte Darstellung der Funktionsweise der zentralen Steuerungskomponente zu geben. Die für die Grundschrirte verwendeten Diagramme (Bilder 4.3, 4.10, 4.15 und 4.17) enthalten auf der linken Seite die wesentlichen netzbetrieblichen Aktionen, auf die jeweils direkt anschließend im einzelnen eingegangen wird, und auf der rechten Seite diejenigen Ergebnisse der Aktionen, die für die Weiterverwendung durch andere Routinen zwischengespeichert werden.

Die nachfolgende relativ ausführliche Darlegung der generischen Vorgehensweise zeigt die Komplexität des angegangenen Problems und geht daher weit ins Detail; sie beinhaltet aber noch längst nicht die Detailstufe der Überprüfung der einzelnen Regel-Bedingungen (Anhang B) und darüber hinaus der Verknüpfungen der Regeln untereinander. Die für die Überprüfung der Regel-Bedingungen implementierten Prädikate bilden ein umfangreiches Programmpaket (ca. 14000 Prolog-Zeilen), die unter Verwendung der rekursiven Abarbeitung aufgebaut sind. Somit würde eine noch detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Ein Beispiel für die prinzipielle Vorgehensweise bei der Abarbeitung **einer** Regel-Bedingung wird in Anhang B dargestellt.

Bei den verwendeten Bildern für die Erläuterung der Beziehung der einzelnen strategischen Schritte untereinander wurden mit dem Ziel der Übersichtlichkeit die Verweise auf weitere zu überprüfende Sachverhalte allgemein gehalten; sie entsprechen daher nicht den vollständigen potentiell möglichen Regelverknüpfungen.

4.2.1 Auswahl der aktuellen Einspeise- und Last-Sammelschiene

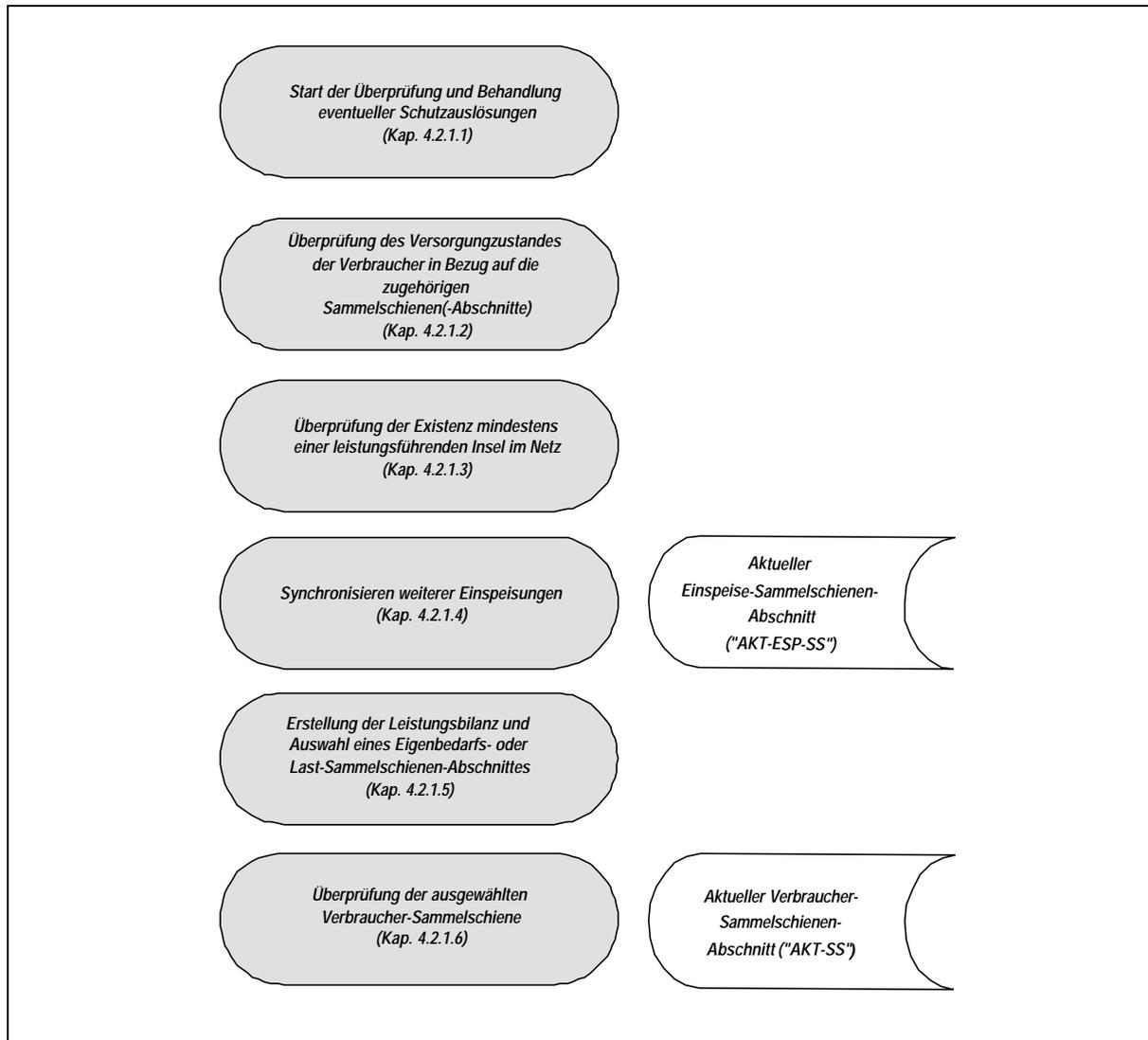


Bild 4.3: Behandlung der Schutzauslösungen und Start der zyklischen Vorgehensweise

4.2.1.1 Start der Überprüfung und Behandlung eventueller Schutzauslösungen

Nach dem Start des Systems wird zuerst durch einen **Initialisierungsvorgang** der Zugriff auf die beschriebenen Kommunikationsschnittstellen (Kap. 4.1.2) hergestellt (Bild 4.4). Die dynamische Faktenbasis (Bild 4.1) wird unter anderem für die Abspeicherung der Zwischenergebnisse bereitgestellt, und die **statischen Datensätze**, die aus der Analyse der potentiellen Netzstruktur und ihrer einzelnen Komponenten durch mehrere Abfragen an datenbeschaffende Dienstprogramme (Kap. 2.4.1) gewonnen wurden, werden in der Faktenbasis abgespeichert (z.B. Auflistung aller vorhandenen Felder und ihrer potentiellen topologischen Merkmale oder Lasten und Einspeisungen mit ihren statischen Eigenschaften). Hinzu kommt auch der statische Entschlüsselungscode, der für die Interpretation der Bitmuster dieser Datensätze notwendig ist. Ferner werden aus diesen Datensätzen einige weitere **zusammengesetzte Ergebnisse** abgeleitet und ebenfalls in der Faktenbasis niedergelegt (z.B. die Liste aller Sammelschienen (-Abschnitte) mit jeweiligen potentiell zugeordneten Last- bzw. Eigenbedarfsfeldern).

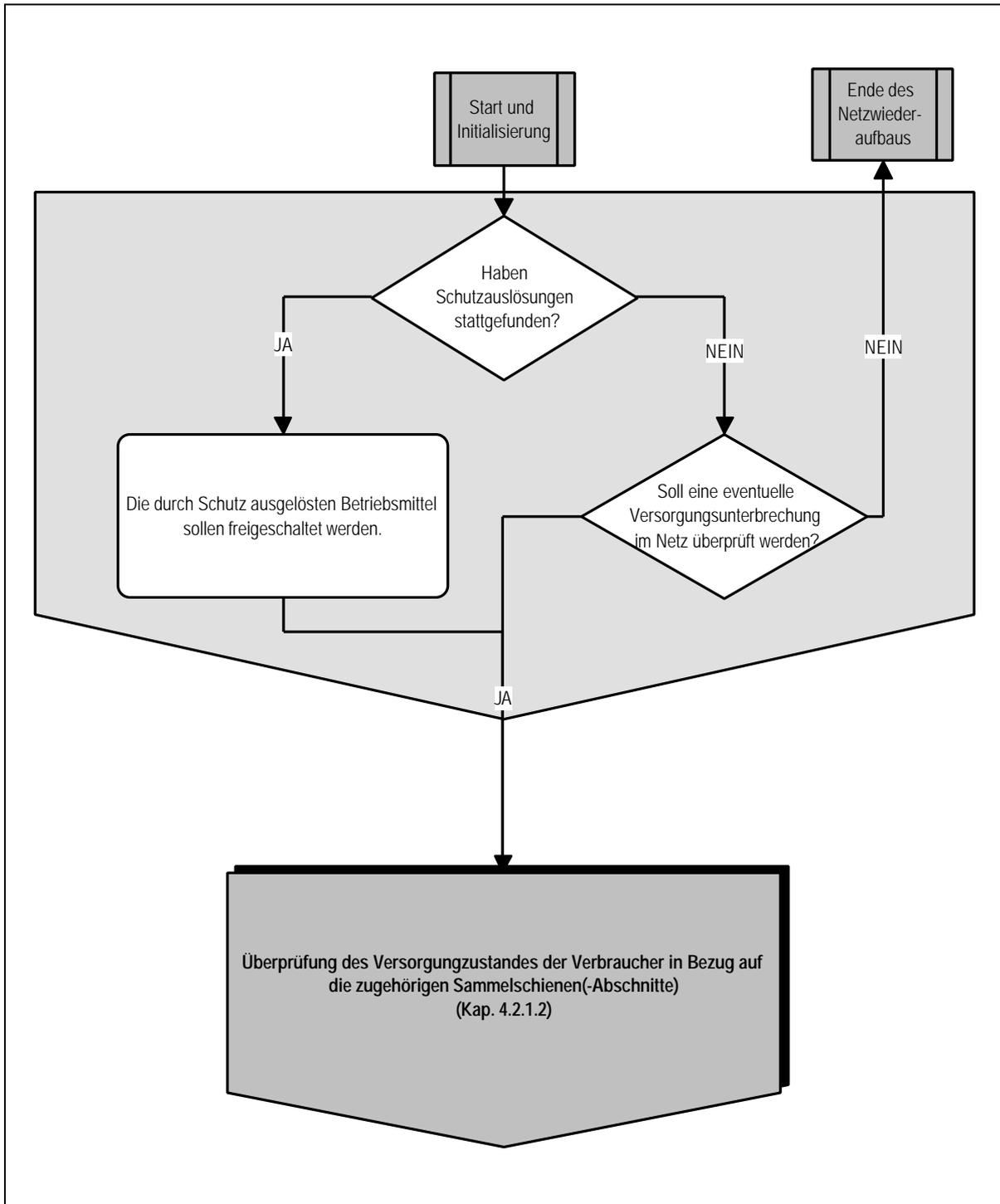


Bild 4.4: Start der Überprüfung und Behandlung eventueller Schutzauslösungen

Nach dem Abschluß der Initialisierungsphase wird die Auswertung der ersten Regelbedingung bezüglich der **Schutzauslösungen** im Netz herangezogen. Der Betriebsführer wird im Dialog aufgefordert, gegebenenfalls die durch Schutz ausgelösten Betriebsmittel freizuschalten. Falls keine Schutzauslösung registriert worden ist, wird auf die Freigabe für die Untersuchung des Versorgungszustandes der Lasten gewartet. Auf Wunsch des Betriebsführers kann aber auch auf eine weitere Überprüfung verzichtet werden.

4.2.1.2 Überprüfung des Versorgungszustandes der Verbraucher in Bezug auf die zugehörigen Sammelschienen(-Abschnitte)

Dieser Schritt beinhaltet das **erste** Regel-Paket des zyklischen Ablaufes in der Wissensbasis (Bild 2.1), und daher kann von verschiedenen Stellen der Wissensbasis darauf verwiesen werden; diese Verweise sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in Bild 4.5 allerdings nicht einzeln eingetragen, sondern in einem gemeinsamen Außenverweis zusammengefaßt.

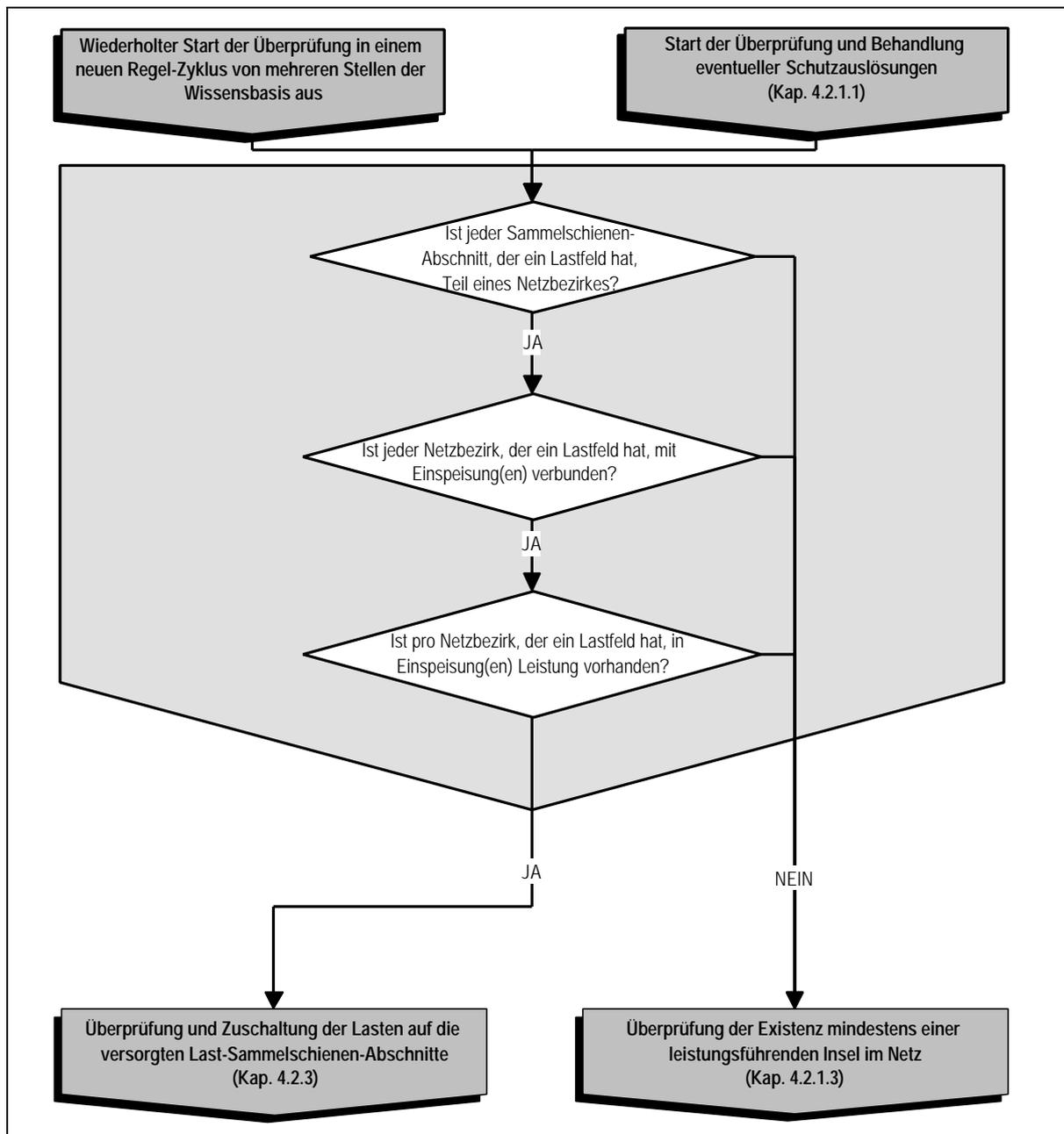


Bild 4.5: Überprüfung der Sammelschienen in Bezug auf die Wiederversorgung aller Lastfelder

Beim wiederholten Eintritt innerhalb des zyklischen Ablaufes werden vorbereitend alle dynamischen Einträge in der Faktenbasis, die in einem vorangegangenen Zyklus als Zwischenergebnisse abgespeichert worden waren, auf die **Initialwerte** zurückgesetzt.

In der Initialisierungsphase wurden bereits diejenigen Sammelschienen-Abschnitte, die mindestens zur Versorgung eines **Last-** oder **Eigenbedarfsfeldes** unmittelbar (ohne Beteiligung weiterer Sammelschiene-Abschnitte) und grundsätzlich (vorerst ohne Berücksichtigung des momentanen Zustandes der einzelnen an der Wiederversorgung beteiligten Schaltgeräte) beitragen können, aus der Liste aller vorhandenen Felder im Netz herausgesucht, und die Ergebnisse dieser potentiellen Untersuchung werden in der Faktenbasis hinterlegt.

Diese Sammelschienen-Abschnitte werden zunächst entsprechend ihrer momentanen topologischen Verschaltung zu vorhandenen **Netzbezirken** zugeordnet (Bild 4.5). Dazu werden die dynamischen Datensätze bezüglich der aktuellen Topologie des Netzes und des momentanen Zustandes der Lasten und Einspeisungen durch Kommunikation mit datenbeschaffenden Dienstprogrammen (Kap. 2.4.1) angefordert.

Die Netzbezirke mit mindestens einer synchronisierten Einspeisung werden als bestehende **Inseln** in einer Liste angeordnet und die versorgten Lasten an Hand ihrer Zugehörigkeit zu einem solchen Netzbezirk herausgefunden. Jede Verbraucher-Sammelschiene, die potentiell mit einem unversorgten Last- bzw. Eigenbedarfsfeld unmittelbar verbindbar ist, wird aus der Liste der in der Vorbereitungsphase angelegten Informationen in der Faktenbasis entnommen und entsprechend ihrer Zugehörigkeit zu einem zusammengeschalteten Netzbezirk oder als bezüglich des gesamten Netzes isoliert vorsortiert.

Die momentane Zugehörigkeit zu einem Netzbezirk ist prinzipiell durch die Auswertung der Ergebnisse aus dem Dienstprogramm, welches für die Analyse der aktuellen Topologie des Netzes ("Netzbeobachter", siehe Kap. 2.4.1) zuständig ist, herauszufinden. Dieses Programm verteilt für alle Felder, die eine Verbindung zu einem Punkt außerhalb der zugehörigen Schaltanlage aufweisen, eine entsprechende aktuelle **Netzgruppennummer** [SPA-98]. Dadurch sind die verschiedenen Netzbezirke gekennzeichnet, die sich bereits im gesamten Netz gebildet haben bzw. bestehen. Andererseits werden diejenigen Sammelschienen-Abschnitte, die sich innerhalb einer Schaltanlage befinden, durch eine weitere anlagen-interne Gruppierung der topologisch zusammengeschalteten Felder vermerkt. Die aktuelle Netzgruppennummer einer Sammelschiene kann aus diesen Informationen mittels einer Suchaktion durch die zentrale Steuerungskomponente ermittelt werden.

In Weiteren wird unterschieden zwischen Verbraucher-Sammelschienen, die zu einem nicht versorgten bzw. einem versorgten Netzbezirk gehören; bei letzteren wird nochmals zwischen solchen unterschieden, deren zugehörige Netzbezirke aktuell noch Wirkleistung für die Wiederversorgung von Verbrauchern bereitstellen können, und solchen, deren Einspeisungen bereits an der Leistungsgrenze (Nennleistung bei Kraftwerken, Einspeise-Transformatoren oder Kupelleitungen) betrieben werden.

Durch diese **Sortierung** der Verbraucher-Sammelschienen sind dann die einzelnen logischen Auswertungen der im Bild 4.5 eingetragenen Schritte möglich. Im Falle der Existenz unversorgter Verbraucher-Sammelschienen, die keine Verbindung zu einem Netzbezirk aufweisen, wird zusätzlich überprüft, ob die dazugehörigen unversorgten Last- bzw. Eigenbedarfsfelder durch eine andere Verbraucher-Sammelschiene übernommen werden können; ist dies nicht der Fall, wird mit der Überprüfung des nächsten globalen Schrittes bezüglich der Sicherstellung der Existenz mindestens einer Insel im Netz fortgefahren.

Sind aber **alle** Verbraucher-Sammelschienen versorgt und ist in den jeweiligen Netzbezirken weitere Wirkleistung verfügbar, wird als nächstes Ziel die Versorgung der einzelnen Lasten verfolgt.

4.2.1.3 Überprüfung der Existenz mindestens einer leistungsführenden Insel im Netz

Die Einspeisungen werden zuerst hinsichtlich deren **Synchronisation** mit dem Netz überprüft. Die hierfür notwendigen aktuellen Datensätze werden vom entsprechenden Dienstprogramm ("Einspeisungsbeobachter", siehe Kap. 2.4.1) zur Verfügung gestellt. Durch eine erneute Topologieauswertung werden die momentan mit der jeweiligen Einspeisung unmittelbar verbundenen Sammelschienen-Abschnitte ("AKT-ESP-SS") herausgefunden, siehe Bild 4.6.

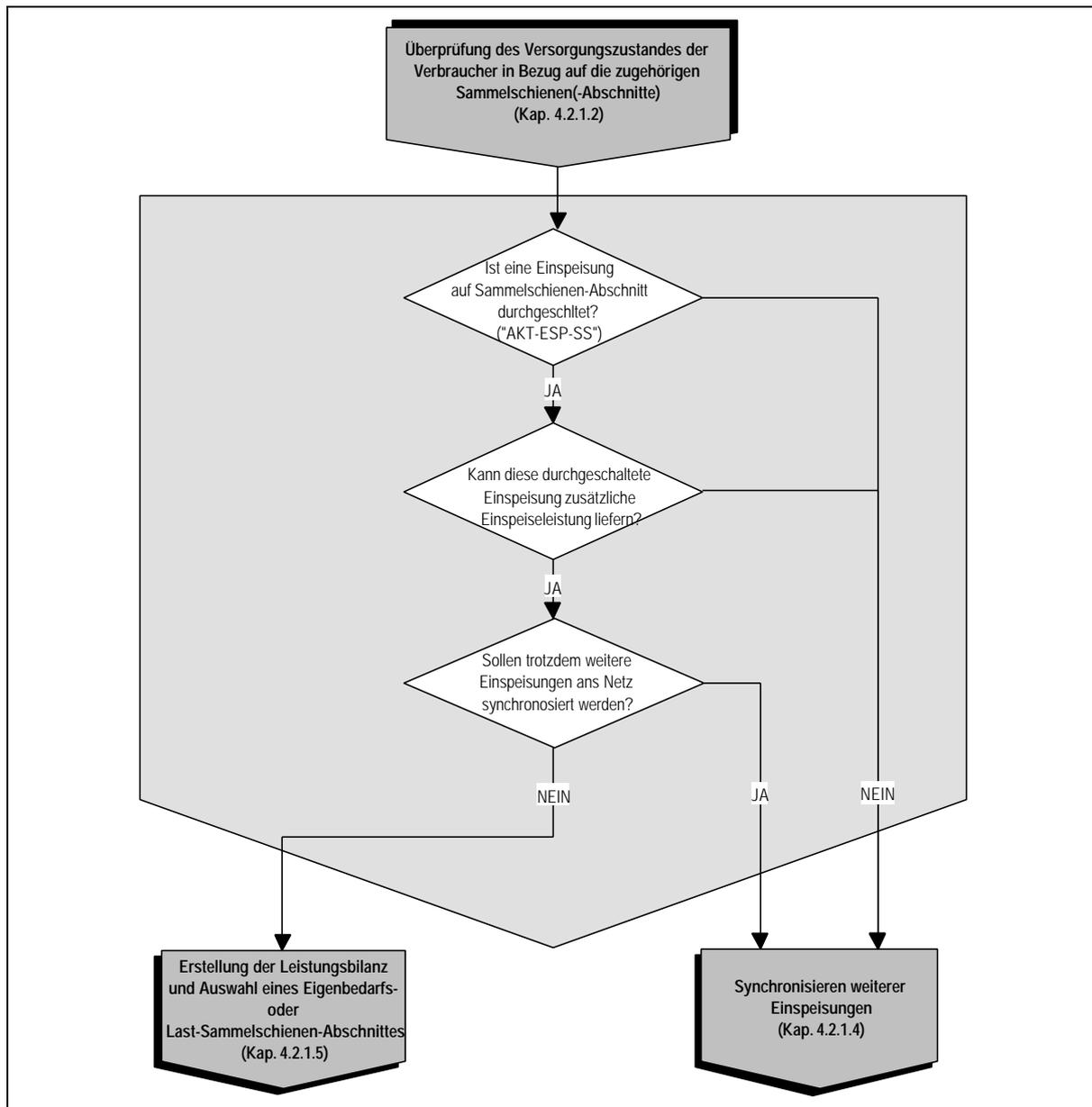


Bild 4.6: Überprüfung der Existenz mindestens einer leistungsführenden Insel

Aus der somit erstellten Liste aller synchronisierten Einspeisungen werden in einer weiteren Überprüfung zuerst diejenigen, die hinsichtlich ihrer nominalen Leistung bereits an der **Grenze** betrieben werden, aus der Untersuchung herausgenommen und die übrigen Einspeisungen, die somit noch für die Wiederversorgung weiterer Verbraucher herangezogen werden können, nach ihrer Zugehörigkeit zu den verschiedenen Inseln im Netz sortiert.

Sind **mehrere** Inseln vorhanden, wird entsprechend der voreingestellten Option entweder im Dialog mit dem Betriebsführer oder selbsttätig eine Insel für die weitere Betrachtung ausgesucht. Für den Betriebsführer-Dialog werden solche Informationen, die für diese Entscheidung relevant sind, zusammengefaßt dargestellt; dazu gehören die Frequenz der Insel, die Liste der jeweils beteiligten Einspeisungen, deren wesentliche Daten (z.B. Typ der Einspeisung und ihre Nennleistung) und ihr momentaner Zustand (z.B. aktuelle Leistung). Bei einer selbsttätigen Auswahl wird die Entscheidung entsprechend der insgesamt verfügbaren Nennleistung in der betreffenden Insel getroffen.

Ein Sammelschienen-Abschnitt ("**AKT-ESP-SS**"), auf welchen eine Einspeisung in dieser Insel direkt zugeschaltet ist, repräsentiert bei weiteren Betrachtungen – insbesondere bei der Suche nach einer topologischen Verbindung – diese Insel und ist als Ergebnis der Untersuchung auszuwerten (siehe auch Bild 2.1).

Im Falle von Leistungsmangel wird unmittelbar versucht, **weitere** Einspeisungen zu aktivieren. Auch sonst wird – sofern die Nennleistung der bereits aktivierten Einspeisungen noch nicht größer ist als die insgesamt zu erwartende Verbraucherlast – dieser Schritt vorgezogen und somit der Synchronisation weiterer Einspeisungen grundsätzlich der Vorrang gegeben. Diese Verbesserung hat sich während der Verifikationsphase des Gesamtsystems als sinnvoll herausgestellt und wurde durch entsprechende Änderungen der Regeln in der ursprünglichen Wissensbasis manifestiert.

4.2.1.4 Synchronisieren weiterer Einspeisungen

Auf diesen Vorgang kann von verschiedenen Regeln in der Wissensbasis, die sich mit der Leistungsanalyse im Netz beschäftigen, verwiesen werden (Bild 4.7).

In diesem globalen Schritt werden die verfügbaren Einspeisungen für die Behebung von Leistungsmangel im Netz aktiviert.

a) Auswahl einer neuen zu aktivierenden Einspeisung

Zuerst werden **alle** verfügbaren Einspeisungen, die in Betrieb genommen bzw. auf das Netz synchronisiert werden können, herausgesucht. Bei dieser Betrachtung wird auch überprüft, ob das jeweilige Kraftwerk im Hinblick auf dessen **Eigenbedarfsversorgung** die entsprechende benötigte Leistung aus dem ausgewählten versorgten Netzbezirk (Insel) zur Verfügung gestellt bekommen kann bzw. die für die Inbetriebnahme benötigte Eigenbedarfsleistung selbst aufbringen kann ("Schwarzstartfähigkeit"). Hierbei werden die Informationen über die Eigenschaften der Einspeisungen durch die Beauftragung datenbeschaffender Dienstprogramme (Kap 2.4.1) eingeholt. Diese Datensätze beinhalten unter anderem Typ, aktuellen Zustand und Eigenbedarfs-Anschlüsse der Einspeisung mit den jeweiligen topologischen Gegebenheiten.

Die **Auswahl** der nächsten zu aktivierenden Einspeisung wird dann entweder im Dialog mit dem Betriebsführer oder selbsttätig durch das entsprechende Dienstprogramm (Kap. 3.1) getroffen.

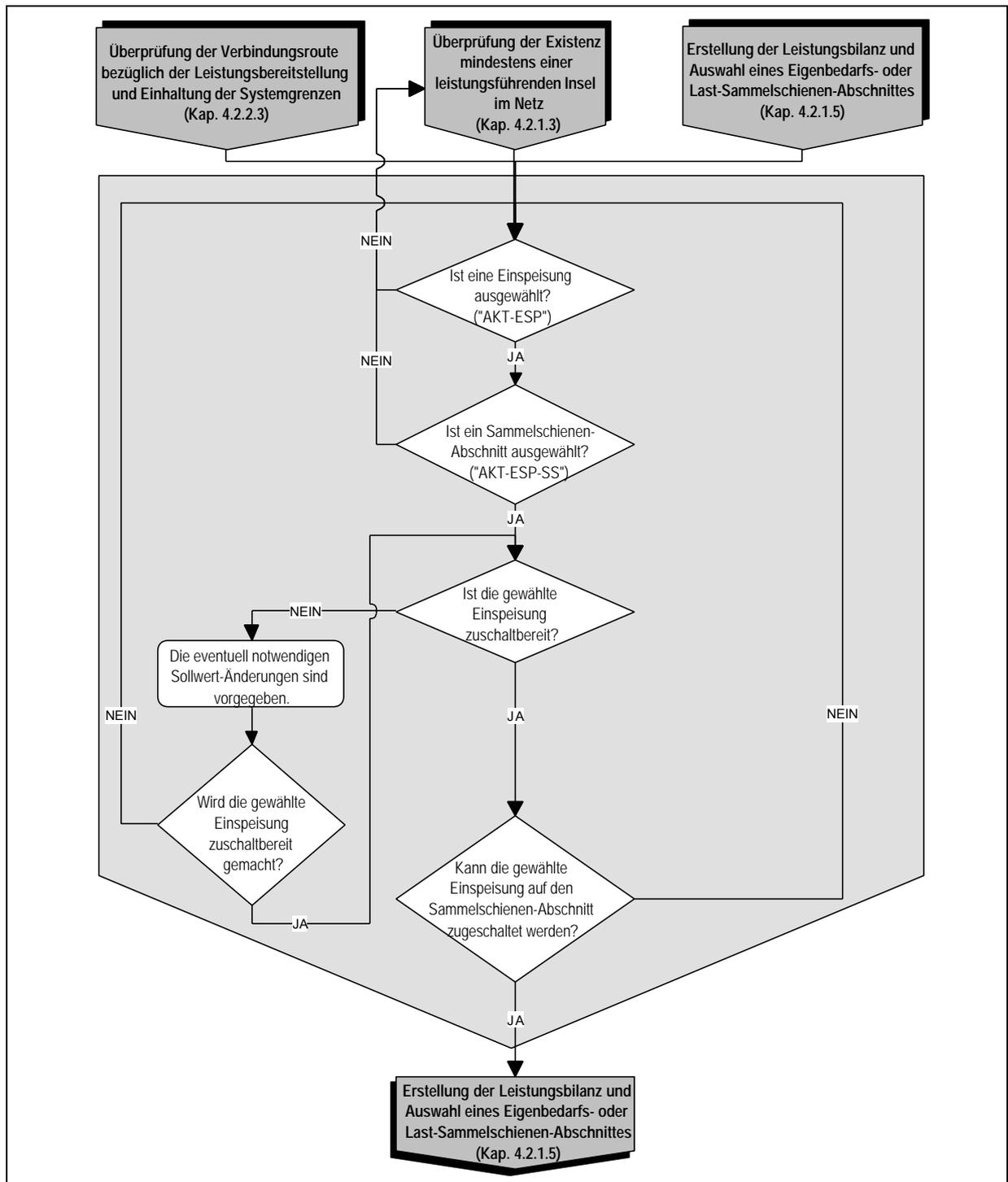


Bild 4.7: Synchronisation weiterer Einspeisungen

Falls durch den Betriebsführer **keiner** weiteren Aktivierung von Einspeisungen stattgegeben werden sollte, ist eine neue Betrachtung der ggf. vorhandenen versorgten Netzbezirke und eventuell die Auswahl einer weiteren Insel erforderlich, die hier (durch entsprechenden Verweis in der Wissensbasis) erfolgen kann. Dies kann dann vorkommen, wenn bei der Auswahl im Dialog bevorzugt wird, daß z.B. keine neue Einspeisung momentan eine Zustandsänderung erfahren sollte, oder wenn nach der selbsttätigen Auswahl für die Synchronisation mit dem Netz Schaltgeräte nicht betätigt werden können bzw. das Durchschalten bis zur ausgewählten Insel sich als problematisch erweisen würde.

Anderenfalls wird die zu aktivierende Einspeisung, sofern deren Eigenbedarfsleistung aus dem Netz bezogen werden kann, einer Überprüfung bezüglich der Leistungsbereitstellung für die ausgewählte Insel unterzogen. Dies ist insbesondere bei der individuellen Auswahl durch den Betriebsführer relevant, da bei optionaler Wahl der automatischen Auswahl diese Kriterien bereits bei der Erstellung der Prioritätsliste der Einspeisungen berücksichtigt werden (siehe Kap. 3.1). Hierbei wird die aus dem Netz zu beziehende Leistung für die Bereitstellung der **Eigenbedarfsversorgung** bis zur Synchronisation mit dem Netz entsprechend dem jeweils aktuellen Zustand der ausgewählten Einspeisung berechnet [GIE-98], und durch ein Dienstprogramm ("Sollwertfeststeller", siehe Kap. 2.4.2) wird überprüft, ob dieser Leistungsbedarf in der jeweiligen Insel überhaupt verfügbar wäre.

Wenn aber festgestellt wird, daß eine bereits für die Synchronisation mit dem Netz ausgewählte Einspeisung doch **nicht** aktiviert werden kann, wird dieser Vorgang ohne Berücksichtigung der verworfenen Auswahl wiederholt. Ist keine Auswahl mehr möglich oder erwünscht, wird auch die Überprüfung der Existenz eines versorgten Netzbezirkes und ggf. die Auswahl einer aktuellen Insel wiederholt.

b) Auswahl eines Sammelschienen-Abschnittes für den Synchronisations-Vorgang

Im nächsten Schritt (Bild 4.7) wird von der zentralen Steuerungskomponente die Auswahl des entsprechenden Sammelschienen-Abschnittes ("**AKT-ESP-SS**") für die Synchronisation der jeweiligen Einspeisung ("**AKT-ESP**") mit dem bestehenden Netz oder die Eröffnung einer neuen Insel, siehe Bild 4.7, vorangetrieben. Für diesen Zweck werden diejenigen Sammelschienen-Abschnitte, die ohne Beteiligung weiterer Sammelschienen-Abschnitte unmittelbar mit der ausgewählten Einspeisung verbunden werden können, aus der Liste aller Felder im Netz ausgesucht; unter Berücksichtigung der aktuellen Topologie des Netzes (u.a. Versorgtheit, Erdung, Zustand der Schaltgeräte) wird entweder im Dialog mit dem Betriebsführer oder selbsttätig eine Auswahl getroffen, die für die weitere Vorgehensweise als "**AKT-ESP-SS**" zur Verfügung steht.

c) Trennung der unversorgten Sammelschienen-Abschnitte vom Restnetz

Wenn dieser ausgewählte Sammelschienen-Abschnitt ("**AKT-ESP-SS**") **nicht** unter Spannung steht, muß er ggf. zuerst aus den unversorgten Netzbezirken heraus **getrennt** werden, um bei Spannungsaufschaltung unbeabsichtigte Wiedereinschaltungen zu vermeiden. Hierzu werden zuerst alle Felder, die mit diesem Sammelschienen-Abschnitt aktuell verbunden sind und die zusätzlich nach außerhalb der zugehörigen Schaltanlage führen können, herausgesucht. Diejenigen Felder, die direkt mit der "**AKT-ESP-SS**" verbunden sind (mit der Ausnahme des Verbindungsfeldes zur aktuell betrachteten Einspeisung) werden von der Sammelschiene getrennt; sonstige Felder, die durch eine Verbindung zu weiteren Sammelschienen-Abschnitten mit der "**AKT-ESP-SS**" zusammengeschaltet sind, werden von den mit dem jeweiligen Feld verbundenen Sammelschienen-Abschnitten getrennt.

Diese Maßnahmen basieren hauptsächlich auf der Auswertung der topologischen Datensätze, die nach entsprechender Anfrage von dem datenbeschaffenden Dienstprogramm ("Netzbeobachter", siehe Kap. 2.4.1) bereitgestellt werden sowie dem Aufruf weiterer Dienststroutinen, die auf Basis der Ergebnisse der potentiellen Topologie-Auswertung durch das Expertensystem für Schaltfolgen und Verriegelung (Kap. 4.1.2.3) Schlußfolgerungen daraus ziehen können (z.B. Ableiten einer Liste aller Felder, die direkt mit einem Sammelschienen-Abschnitt verbunden

sind). Die für das **Abschalten** der einzelnen Felder benötigte Schaltfolge wird ebenfalls vom Expertensystem für Schaltfolgen und Verriegelung bereitgestellt, und die einzelnen Schaltbefehle werden dann nach der Überprüfung hinsichtlich der Fernsteuerbarkeit der beteiligten Schaltgeräte durch das entsprechende aktionsausführende Dienstprogramm (Kap. 2.4.4) je nach gewählter Option entweder selbsttätig oder im Dialog mit dem Betriebsführer durchgeführt. Im letzteren Fall wird auch wie in allen anderen Situationen, die eine Handlung des Betriebsführers erfordern, das Zutreffen der von diesem gegebenen Quittierung durch nochmalige Anfrage an die Prozeßdatenbank überprüft.

d) Wiederversorgung des ausgewählten Sammelschienen-Abschnittes

Nach der gezielten Trennung der "AKT-ESP-SS" von allen weiteren unversorgten Netzbezirken wird der aktuelle Zustand des Netzes im Bezug auf die versorgten Inselgruppen nochmals analysiert. Wenn Inseln vorhanden sind, wird entweder selbsttätig eine davon ausgewählt (und zwar diejenige, die zuletzt betrachtet wurde) oder im Dialog mit dem Betriebsführer eine Entscheidung herbeigeführt. Diese erneute Untersuchung ist darin begründet, daß von verschiedenen Teilen der Wissensbasis auf diesen Vorgang verwiesen werden kann (Bild 4.7).

In nachfolgenden Schritten wird dann durch eine umfangreiche Untersuchung eine zuschaltbare potentielle **Verbindungsroute** zwischen "AKT-ESP-SS" und einem der bereits unter Spannung stehenden Sammelschienen-Abschnitte innerhalb der ausgewählten Netz-Insel ausgesucht (siehe auch detailliert in Kap. 4.2.2.1).

Als präventive Maßnahme werden zuerst die an dieser Verbindungsroute beteiligten Sammelschienen-Abschnitte von weiteren unversorgten Netzgruppen **getrennt**, damit gezielt nur die beabsichtigte Verbindungsroute durch die dafür notwendigen Schalthandlungen durchgeschaltet wird.

Unter Beteiligung mehrerer Dienstprogramme wird die **detaillierte Schaltfolge** für das Durchschalten dieser Verbindungsroute herausgesucht. Die dazu zu betätigenden Schaltgeräte werden durch direkte Anfragen an die Prozeßdatenbank (Kap. 2.4.1) bzw. durch die Auswertung der Ergebnisse analytischer Dienstprogramme (Kap. 2.4.2) hinsichtlich ihrer Funktionstüchtigkeit untersucht.

Außerdem wird diese Verbindungsroute weiteren **prognostischen** Überprüfungen (siehe detailliert in Kap. 4.2.2.3) unterworfen und kann als Resultat auch als nicht geeignet eingestuft werden; damit würde eine weitere Suche nach einer anderen Verbindungsroute veranlaßt. Die Verwaltung bereits verworfener Verbindungspfade ermöglicht dabei das Fortfahren, bis keine weitere potentielle Verbindung mehr vorhanden ist; alternativ kann als Ausweg im Dialog eine neue Auswahl von "AKT-ESP-SS" erfolgen. Es besteht in diesem Fall auch die Möglichkeit, daß der Betriebsführer eine neue Auswahl der existierenden Inselgruppen sinnvoller findet (Bild 4.7). Hierbei wird in der Faktenbasis der entsprechende Ausgangszustand **vor** dem Eintritt in diesen globalen Schritt wiederhergestellt (z.B. die Auswahl von "AKT-ESP-SS" und "AKT-ESP" werden zurückgenommen), und die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden vermerkt (d.h. die "AKT-ESP" wird bei der wiederholten Auswahl aus der Liste aller Einspeisungen, die zur Auswahl stehen, eliminiert, siehe auch Bild 3.1). Durch jeweilige Verweise in der Wissensbasis wird dann eine erneute Betrachtung der Inseln im Netz (Bild 4.7) angegangen.

Diese Flexibilität hinsichtlich der Auswahl durch den Betriebsführer wurde einerseits vorgesehen, um die Akzeptanz zu erhöhen; andererseits ist es aber gerade auch für Trainingszwecke sehr vorteilhaft, wenn eine getroffene Entscheidung bezüglich des Verbindungspfades revidiert werden kann.

Bei der **autonomen** Vorgehensweise des generischen Netzwiederaufbau-Systems wird der Vorgang konsequent weiter verfolgt, bis unter den gegebenen Rahmenbedingungen keine andere Möglichkeit mehr existiert, und erst dann wird eine neue Auswahl der "AKT-ESP-SS" oder einer neuen Netz-Insel getroffen.

Wird auf Basis der Ergebnisse von analytischen und prognostizierenden Dienstprogrammen, die vor der Herstellung der jeweiligen Verbindungsrouten die Durchführbarkeit dieser Netzzustands-Änderung überprüfen, festgestellt, daß das Durchschalten des ausgewählten Verbindungspfades **zulässig** ist, wird die Ausführung der entsprechenden Schalthandlungen veranlaßt (siehe auch detaillierter in Kap. 4.2.2.4), und damit wird die "AKT-ESP-SS" mit der betrachteten Insel verbunden.

In nächsten Schritt wird das Aktivieren der ausgewählten Einspeisung ("AKT-ESP") zur beabsichtigten Synchronisation mit dem bestehenden Netz-Insel angegangen.

e) Aktivieren der Einspeisung bis zur Synchronisierbereitschaft

Die bereits ausgewählte Einspeisung ("AKT-ESP") wird auf ihre **Synchronisierbereitschaft** untersucht. Ist dieser Zustand noch nicht gegeben, so daß vorbereitend weitere Maßnahmen (z.B. das Anfahren des Kraftwerks-Blockes) zu treffen sind, wird zunächst die erforderliche Eigenbedarfsleistung ermittelt, die gegebenenfalls für die Inbetriebnahme dieser Einspeisung aus der bereits versorgten Insel bezogen werden muß (dies entfällt bei schwarzstartfähigen Einspeisungen).

Als nächstes wird überprüft, ob die benötigte **Eigenbedarfsleistung** von den bereits synchronisierten Einspeisungen in der betrachteten Insel aufgebracht werden kann. Diese Überprüfung erfolgt durch den Aufruf des zuständigen Dienstprogrammes ("Sollwertfeststeller" siehe Kap. 2.4.2). Wenn die Bereitstellung der angeforderten Leistung mit der Verteilung neuer Sollwerte an bereits synchronisierte Einspeisungen erreicht werden kann, werden diese ermittelt und die erforderlichen **Sollwertvorgaben** durch das entsprechende aktionsausführende Dienstprogramm vorgenommen (Kap. 2.4.4).

Darauffolgend wird periodisch der Zustand der betrachteten Netz-Insel bezüglich der Einspeisungen beobachtet, um feststellen zu können, wann der Zeitpunkt erreicht wird, bei welchem ohne Verletzung der Frequenzgrenzen die Eigenbedarfs-Zuschaltung des ausgewählten Kraftwerkes und ggf. die damit verbundene Leistungsabnahme aus dem Netz vollzogen werden kann [KRO-97b]. Hierbei ist nochmals zu bemerken, daß diese Maßnahmen für schwarzstartfähige Blöcke entfallen.

Als nächstes wird dann aus den aktuellen Einspeisedaten (Istzustand) die jeweilige **Zustandsänderung** für die ausgewählte Einspeisung (Sollzustand) ermittelt (Anfahren, Pumpen einschalten bei thermischen Kraftwerken [GIE-98]). Diese wird je nach gewählter Option entweder selbsttätig oder im Dialog mit dem Betriebsführer durch Vorgabe einer deskriptorförmigen Anweisung eingeleitet und wurde bereits bei der Auswahl der nächsten zu aktivierenden Einspeisung beschrieben (Kap. 3.1).

Besonderes bei thermischen Kraftwerken können die "**Anfahrzeiten**" je nach Ausgangszustand erhebliche Zeit in Anspruch nehmen [GIE-98]. Diese Übergangszeiten können gegebenenfalls für die Durchführung weiterer Maßnahmen verwendet werden (z.B. die Eigenbedarfsversorgung weiterer Einspeisungen). Daher wird nach der Erteilung der entsprechenden Anweisung an die ausgewählte Einspeisung im **Betriebsführer-Dialog** entschieden, ob auf den gewünschten Sollzustand gewartet oder die Aktivierung weiterer Einspeisungen angestrebt werden soll. Es besteht allerdings auch die Möglichkeit, daß auf Wunsch des Betriebsführers dieser globale Schritt an dieser Stelle abgeschlossen und entsprechend der Vorgeschichte an anderer Stelle fortgefahren wird.

Wenn aber diese Entscheidung durch Wahl der entsprechenden Option durch das Expertensystem **selbsttätig** getroffen werden sollte, wird die durch das Programm "Einspeisungsauswahl" (Kap. 3.1) abgeschätzte Zeit für die bereits veranlaßte Zustandsänderung in der Faktenbasis vermerkt und soweit wie möglich mit der Aktivierung weiterer Einspeisungen zur Deckung des Leistungsdefizits im Netz fortgefahren. Ist dies nicht mehr möglich, so wird dieser globale Schritt zunächst abgeschlossen und weitere Maßnahmen, die in der Zielliste bereits eingetragen sind, werden eingeleitet. Bei der Abarbeitung weiterer Regeln werden jeweils die in der Faktenbasis vorgemerkten Ablaufzeiten für das Erreichen des Sollzustandes der einzelnen Einspeisungen überprüft, damit unmittelbar weitere Maßnahmen bezüglich der Synchronisation der betrachteten Einspeisung veranlaßt werden können.

f) Synchronisation der neuen Einspeisung

Durch die oben beschriebenen Maßnahmen wird letztendlich die ausgewählte Einspeisung Schritt für Schritt in einen **synchronisierbereiten** Zustand versetzt. Abschließend soll diese zuschaltbereite Einspeisung mit der "AKT-ESP-SS" verbunden werden (Bild 4.7). Ist dieser Sammelschienen-Abschnitt bereits versorgt, dann wird der Synchronisationsvorgang in Gang gesetzt; anderenfalls wird mit "AKT-ESP-SS" eine neue Insel eröffnet.

Für die Synchronisation ist das Vorhandensein eines **Synchronisiergerätes** zwischen der betrachteten Einspeisung und der "AKT-ESP-SS" erforderlich, welches durch eine generische Suche in der Prozeßdatenbank (Kap. 2.4.1) und einschließenden Vergleich mit den Schaltgeräten, die für die Erstellung dieser Verbindung betätigt werden müssen, ermittelt wird. Hierbei wird auch die Funktionsbereitschaft des Synchronisiergerätes überprüft.

Anschließend wird die Schaltfolge von Expertensystem für Schaltfolgen und Verriegelung angefordert, und die einzelnen Schalthandlungen werden dann derart **sortiert** und ausgeführt, daß zuerst von der Einspeisung aus und dann von "AKT-ESP-SS" aus bis zum durch das Synchronisiergerät betätigten Leistungsschalter durchgeschaltet und anschließend der Synchronisierbefehl gegeben wird.

In Falle der Eröffnung einer neuen Insel wird als vorbereitende Maßnahme ggf. der unversorgte Sammelschienen-Abschnitt vom Restnetz abgetrennt (siehe Punkt c). Als abschließende Aktion kann dann hier die entsprechende Einspeisung im Dialog mit dem Betriebsführer oder optional selbsttätig auf die Sammelschiene geschaltet werden.

Nach der Abgabe des Synchronisierbefehls wird das Netz auf **Eintreten** des neuen Zustandes ("Einspeisung synchron") hin überwacht und mit dem weiteren Verlauf, der sich aus der Vorgeschichte der Vorgehensweise ergibt, fortgefahren. Hierbei kann als nächster Schritt die Überprüfung der Leistungsbilanz im gesamten Netz erfolgen.

4.2.1.5 Erstellung der Leistungsbilanz und Auswahl eines Eigenbedarfs- oder Last-Sammelschienen-Abschnittes

Eine grundlegende Entscheidung, die durch Anwendung dieser Regelmenge getroffen werden soll, beinhaltet die Auswahl einer Verbraucher-Sammelschiene ("AKT-SS"), die in den nachfolgenden Schritten mit der bestehenden Insel verbunden werden soll. Diese kann dann zur Wiederversorgung der einzelnen Eigenbedarfs- oder Lastfelder eingesetzt werden (Bild 4.8).

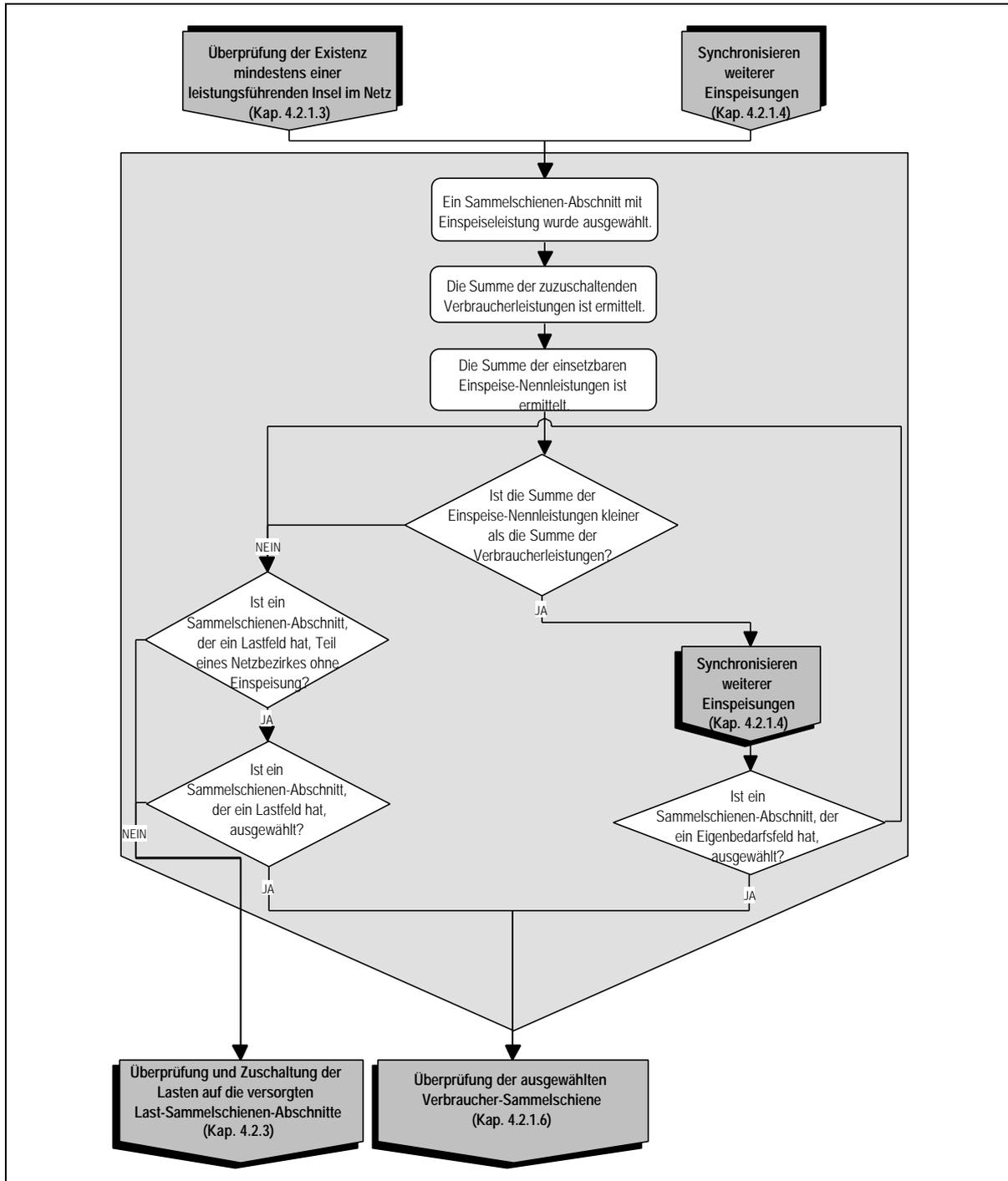


Bild 4.8: Auswahl eines Sammelschienen-Abschnittes anhand der Leistungsbilanz im gesamten Netz

Die eingeführte Richtlinie für diese Entscheidung ist die Berücksichtigung der **Leistungsbilanz** im gesamten Netz. In dieser Bilanzbildung wird die Summe aller Wirkleistungsnennwerte, die von bereits synchronisierten Einspeisungen im Netz zur Verfügung steht, mit der Summe der benötigten Wirkleistung für die Wiederversorgung aller Verbraucher verglichen, woraus dann entsprechende Rückschlüsse bezüglich der Auswahl eines nächsten Eigenbedarfs- oder Last-Sammelschienen-Abschnittes für die Wiederversorgung gezogen werden.

Um bei dieser Kalkulation auf der sicheren Seite zu liegen, wird bei der Berechnung der insgesamt benötigten Wirkleistung für die Wiederversorgung aller Verbraucher ein **Sicherheitszuschlag** von 15% angesetzt. Dadurch wird auch erreicht, daß etwas mehr Einspeiseleistung synchronisiert wird als für die Wiederversorgung aller Verbraucher insgesamt notwendig ist und somit zur Sicherheit beim Netzwiederaufbau beigetragen.

Wird unter Berücksichtigung dieses Aspektes eine noch zu geringe Einspeiseleistung im Netz festgestellt, so wird das Synchronisieren weiterer Einspeisungen vorgezogen (Bild 4.8). Dies führt außerdem zu einer **priorisierten** Behandlung der Eigenbedarfs-Anschlüsse der Einspeisungen im Vergleich zur Wiederversorgung der Lasten. Aus diesem Grund wird untersucht, ob eine Verbraucher-Sammelschiene, die zur Versorgung von Eigenbedarfs-Anschlüssen beitragen kann, bevorzugt unter Spannung gesetzt werden kann. Dazu wird vorbereitend eine Liste aller derjenigen Sammelschienen-Abschnitte zusammengestellt, die potentiell für die Versorgung der Eigenbedarfs-Anschlüsse eingesetzt werden können. Daraus wird entweder im Dialog mit dem Betriebsführer oder selbsttätig eine Auswahl getroffen.

Im **Dialog** wird der Betriebsführer mit umfangreichen Zusatzinformationen unterstützt (z.B. der Auflistung aller zu versorgenden Eigenbedarfs-Anschlüsse an dieser Sammelschiene mit den jeweiligen Eigenbedarfs-Leistungswerten, Art und Zustand der Einspeisungen, topologischen Informationen bezüglich der Netzbezirkszugehörigkeit des betreffenden Sammelschienen-Abschnittes).

Bei der **selbsttätigen** Auswahl orientiert sich das System an den Ergebnissen des Dienstprogrammes "Lastauswahl" (Kap. 3.2.2). Der ausgewählte Eigenbedarfs-Sammelschienen-Abschnitt (in der weiteren Betrachtung als "AKT-SS" abgekürzt) soll dann in den nächsten globalen Schritten versorgt werden.

Sind **keine** Eigenbedarfs-Anschlüsse mehr zu versorgen – dies ist der Fall, wenn bereits alle Eigenbedarfs-Anschlüsse der Kraftwerke versorgt sind bzw. im Dialog mit dem Anwender festgestellt wurde, daß momentan höhere Priorität bei der Versorgung der Lasten liegt, oder vor allem, wenn die Leistungsbilanz ein entsprechendes Ergebnis liefert –, dann wird als nächstes überprüft, ob ein Sammelschienen-Abschnitt für die Versorgung von Lasten ausgewählt werden kann. Dazu wird zunächst festgestellt, ob überhaupt mindestens ein solcher bisher unversorgter Sammelschienen-Abschnitt existiert, der für die Wiederversorgung von Lasten eingesetzt werden könnte. Hierzu werden die einzelnen (noch) unversorgten Lasten auf die Möglichkeit hin untersucht und sortiert, ob diese nicht unmittelbar durch weitere bereits unter Spannung stehende Sammelschienen-Abschnitte Leistung beziehen können.

Entsprechend der im Kap. 4.2.1.2 beschriebenen Vorgehensweise wird auch hier zunächst eine Liste aller Sammelschienen-Abschnitte, die potentiell für die Lastversorgung eingesetzt werden können und daher zuerst mit der ausgewählten Insel verbunden werden können, zusammengestellt.

Im Dialog mit dem Betriebsführer kann dazu eine entsprechende **Auswahl** getroffen werden. Analog wie im zuvor beschriebenen Fall wird auch hier ein umfangreiches Informationspaket zur Erleichterung der Entscheidung bereitgestellt. Dieses beinhaltet u.a. den aktuellen topologischen Zustand der Sammelschienen-Abschnitte (z.B. aktuelle Verbindung mit weiteren für die Wiederversorgung der anderen Lasten geeigneten Sammelschienen-Abschnitten, Zugehörigkeit zu einem zusammengeschalteten gestörten oder geerdeten Netzbezirk usw.) und detaillierte Informationen über die entsprechenden darüber potentiell zuschaltbaren Lasten, die insgesamt erforderliche Leistung für die Versorgung aller von diesem Sammelschienen-Abschnitt aus erreichbaren Lasten sowie den die einzelnen Lasten betreffenden aktuellen topologischen Zustand.

Der Auswahlvorgang kann auch vom Betriebsführer **abgebrochen** werden; in Konsequenz wird dadurch die Versorgung der einzelnen Lasten durch bereits unter Spannung stehende Sammelschienen-Abschnitte in den Vordergrund der aktuellen Vorgehensweise gerückt.

Für eine auch hier optional mögliche **selbsttätige** Auswahl eines als nächstes unter Spannung zu setzenden Sammelschienen-Abschnittes wird das Dienstprogramm "Lastauswahl" herangezogen, welches diese Aufgabe verbunden mit einer umfangreichen Untersuchung des Netzzustandes übernimmt (Kap. 3.2.2).

Resultat dieses globalen Schrittes ist die Festlegung des Sammelschienen-Abschnittes ("AKT-SS"), vor dessen endgültiger (Wieder-)Zuschaltung jedoch noch einige zusätzliche Überprüfungen vorgenommen werden.

4.2.1.6 Überprüfung der ausgewählten Verbraucher-Sammelschiene

In diesen globalen Schritt wird der ausgewählte Sammelschienen-Abschnitt ("AKT-SS") zunächst auf seine **Zuschaltbarkeit** in Bezug auf die netzweit aktuell vorliegenden topologischen Gegebenheiten hin untersucht (Bild 4.9).

Bei dieser Betrachtung wird u.a. anhand der aktuellen Topologie-Datensätze (Kap. 2.4.1) als erstes überprüft, ob "AKT-SS" **geerdet** ist. Wenn dies der Fall ist, wird weiter unterscheiden, ob die Erdung lokal eingelegt (direkte Erdung z.B. bei Wartungsarbeiten an der ausgewählten Sammelschiene) oder durch Zugehörigkeit zu einem geerdeten Netzbezirk zustande gekommen ist.

Diese Feststellungen werden dem Betriebsführer mitgeteilt und sich schließlich nach der **Verfügbarkeit** des ausgewählten Sammelschienen-Abschnittes erkundigt (Bild 4.9). Der Dialog wird bei Wahl des autonomen Modus durch eine selbsttätige Suche ersetzt.

Wenn aber die Erdung von "AKT-SS" zum Herstellen der Verfügbarkeit des Sammelschienen-Abschnittes aufgehoben werden sollte, wird der Betriebsführer aufgefordert, entweder selbst diese Enterdung umzusetzen oder, sofern die jeweiligen Schaltgeräte fernsteuerbar sind, diese Aktion selbsttätig von Expertensystem erledigt.

Im Falle der definitiven nicht-Verfügbarkeit des ausgewählten Sammelschienen-Abschnittes wird die grundsätzliche Möglichkeit eines **Sammelschienen-Wechsels** überprüft. Dies wird von einer direkt aufrufbaren Schnittstelle-Routine (Kap. 4.1.2.3) übernommen, welche Topologie-Informationen des Expertensystems für Schaltfolgen und Verriegelung auswertet.

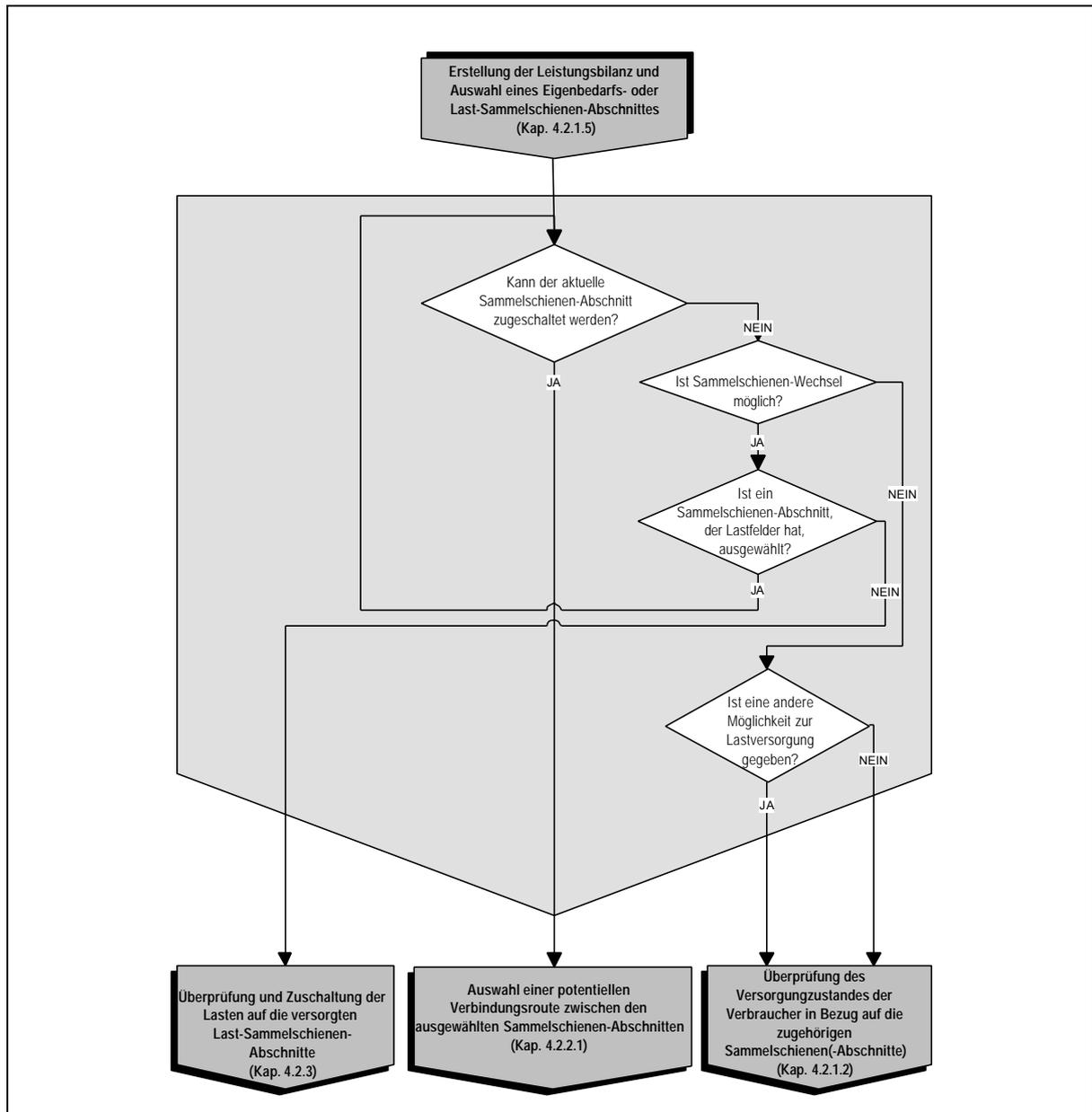


Bild 4.9: Überprüfung des ausgewählten zu versorgenden Sammelschienen-Abschnittes bezüglich seiner Einsatzbereitschaft

Ist der **Sammelschienen-Wechsel** prinzipiell möglich, so werden durch weitere (ebenfalls im Rahmen dieser Arbeit entwickelte) Schnittstellen-Routinen (Kap. 4.1.2.3) zuerst alle Felder, die potentiell auf den jeweiligen Sammelschienen-Abschnitt zuschaltbar sind, herausgesucht. Aus dieser Liste werden dann diejenigen Felder aussortiert, die für die Versorgung weiterer Last- bzw. Eigenbedarfsfelder eingesetzt werden können. Nur dann, wenn mindestens ein solches Feld vorhanden ist, wird der entsprechende Sammelschienen-Abschnitt als möglicher Kandidat für einen Sammelschienen-Wechsel im Betracht gezogen. Aus der so zusammengesetzten Liste der Sammelschienen-Abschnitte, die diese Anforderungen erfüllen und verfügbar sind, wird dann einer für die Übernahme der zu versorgenden Abgangsfelder ausgewählt. Der nicht-verfügbare Sammelschienen-Abschnitt wird vor dem Wechsel von allen Abgangsfeldern frei geschaltet. Eventuell eingeschaltete Kupplungen zwischen diesem und weiteren Sammelschienen-Abschnitten werden geöffnet. Dies geschieht soweit wie möglich selbsttätig.

In einen weiteren Schritt wird dann die **Schaltfolge** für den Sammelschienen-Wechsel von dem Expertensystem für Schaltfolgen und Verriegelung angefordert und diese – soweit Fernsteuerbarkeit vorliegt – selbsttätig oder anderenfalls im Dialog mit dem Betriebsführer veranlaßt.

Wenn aber festgestellt wird, daß ein Sammelschienen-Wechsel grundsätzlich **nicht** möglich ist, wird im Dialog mit dem Betriebsführer untersucht, ob noch eine andere Möglichkeit zur Versorgung der betroffenen Verbraucher existiert (Bild 4.9), die dem Expertensystem aus den Prozeßinformationen nicht bekannt sein kann (z.B. eine nicht im Zuständigkeitsbereich der betrachteten Leitstelle liegende Leitung zu einem Nachbarnetz oder Informationen bezüglich der baldigen Erledigung von Reparaturarbeiten im Netz). In solchen Fällen wird durch entsprechende Verweise in der Wissensbasis ein neuer Zyklus eingeleitet, der dann unter anderem die neue Auswahl einer "AKT-SS" veranlaßt. Dies ermöglicht es, falls aktuell keine Möglichkeit zur Versorgung der betroffenen Verbraucher existiert, mit weiteren Maßnahmen an anderer Stelle im Netzwiederaufbau fortzufahren; dennoch wird jedesmal bei der erneuten Auswahl einer "AKT-SS" die Aufmerksamkeit auf diese Situation gelenkt.

Aus dem Bild 4.9 ist auch ersichtlich, daß der Betriebsführer durch **Verlassen** des Auswahl-Routine die Versorgung einzelner Lasten bzw. Eigenbedarfs-Anschlüsse bevorzugen kann.

Nach Feststellung der Verfügbarkeit des ausgewählten Sammelschienen-Abschnittes ("AKT-SS") wird in weiteren Schritten nach einer zuschaltbaren topologischen Verbindung zwischen der versorgten Insel ("AKT-ESP-SS") und dem noch unversorgten Sammelschienen-Abschnitt ("AKT-SS") gesucht.

4.2.2 Auswahl, Überprüfung und Durchschaltung einer topologischen Verbindungsrouten zwischen aktuellem Verbraucher- und Einspeisungs-Sammelschienen-Abschnitt

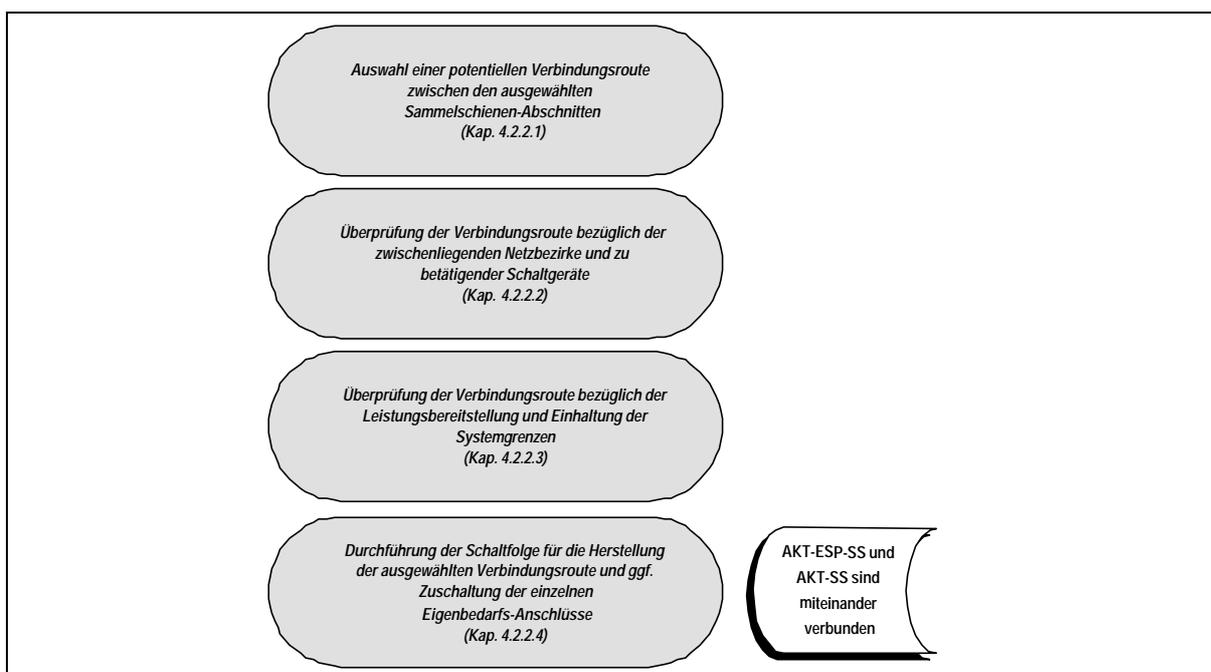


Bild 4.10: Auswahl und Herstellen einer überprüften Verbindungsrouten zwischen dem aktuell zu versorgenden Sammelschienen-Abschnitt und bestehender Netz-Insel

4.2.2.1 Auswahl einer potentiellen Verbindungsroute zwischen den ausgewählten Sammelschienen-Abschnitten

Wenn "AKT-SS" bereits durch die ausgewählte Insel **versorgt** ist (z.B. durch willkürliche Eingriffe des Betriebsführers), wird die Versorgung der einzelnen Lasten bzw. Eigenbedarfs-Anschlüsse durch diesen Sammelschienen-Abschnitt ("AKT-SS") angestrebt (Bild 4.11).

Andernfalls wird in diesem globalen Schritt als erstes nach einem potentiellen **Verbindungspfad** zwischen den beiden Sammelschienen-Abschnitten gesucht. Die einzelnen Suchaktionen werden bei einem Dienstprogramm ("Verbindungssucher", siehe Kap. 2.4.2) in Auftrag gegeben; hierbei wird die Suchtiefe vorgegeben, um den Suchraum abzugrenzen.

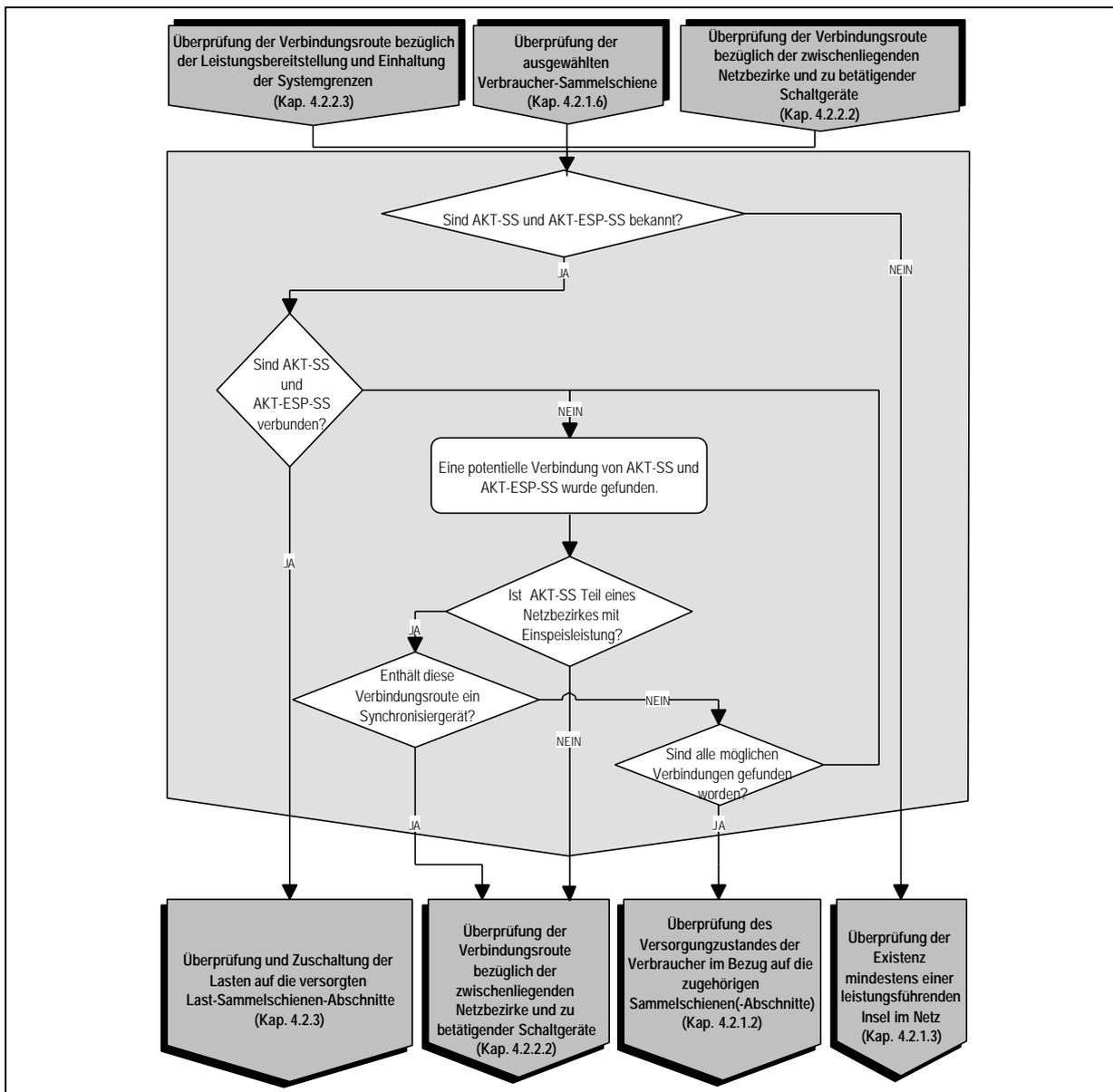


Bild 4.11: Auswahl einer potentiellen Verbindungsroute zwischen den ausgewählten Sammelschienen-Abschnitten (Verbraucher-Sammelschienen-Abschnitt abgekürzt als "AKT-SS" und unter Spannung stehender Sammelschienen-Abschnitt abgekürzt als "AKT-ESP-SS")

Als Antwort werden dann verschiedene mögliche Verbindungsrouten durch Nennung der zwischenliegenden beteiligten Felder ausgegeben. Anlagen-interne Verbindungsfelder ("Kuppelfelder" [HEU-95]) bleiben zunächst unberücksichtigt.

Um die Liste aller derart ermittelten Verbindungsrouten auswerten und verwalten zu können, muß auch hier ein **Modus** für die Auswahl festgelegt werden; dies erfolgt entweder beim Start des Systems, oder er kann bei jedem neuen Eintritt in diesen globalen Schritt im Dialog mit dem Anwender neu angegeben werden.

- Beim völlig "automatischen Modus" gibt es keinerlei Dialog mit dem Betriebsführer.
- In einem "semi-automatischen Modus" wird der vom Expertensystem ausgewählte und vorgeschlagene Verbindungspfad nach der Bestätigung durch den Betriebsführer als endgültiges Ergebnis akzeptiert bzw. abgelehnt.
- Im "manuellen Modus" entfällt die Vorauswahl, und daher wird keine Vorsortierung nach priorisierenden Gesichtspunkten vorgenommen; die Auswahl wird aus einer Liste, die nur entsprechend der Suchtiefe der Verbindungsrouten sortiert ist, vom Betriebsführer vorgenommen.

Der **Suchvorgang** wird in mehreren Schritten mit verschiedenen Suchtiefen auf Initiative der zentralen Steuerungskomponente veranlaßt. In einem vorangegangenen Schritt wird eine Liste aller nicht-verfügbaren Schaltgeräte und Felder eingeholt. Zusätzlich zu den in der Prozeßdatenbank als nicht verfügbar markierten Betriebsmitteln kann eine Liste nicht zu verwendender Komponenten eingegeben werden. Letztere dient z.B. beim Training zur Vorgabe erschwerter Betriebsbedingungen durch den Trainer.

Der **feste** Suchpunkt ist der unter Spannung zu setzende Sammelschienen-Abschnitt ("AKT-SS"). Der einseitige Sammelschienen-Abschnitt ("AKT-ESP-SS") kann aber mit weiteren Sammelschienen-Abschnitten in dem gleichen Netzbezirk verbunden sein. Diese werden als potentielle Anschlußpunkte an den versorgten Netzbezirk vermerkt, und zwar nur dann, wenn sie nicht einer Schaltanlage mit niedrigerer Spannungsebene als die "AKT-SS" angehören. Mit aufsteigender Suchtiefe wird dann zwischen diesen Anschlußpunkten und der "AKT-SS" solange mit der Verbindungssuche fortgefahren, bis mindestens eine potentielle Verbindungsrouten gefunden wird. Zwischen den ermittelten möglichen Pfaden wird dann durch eine umfangreiche Untersuchung in einer vorgegebenen maximalen Bearbeitungszeit quasi die beste **ausgewählt**. Als ausschließende Kriterien werden dazu folgende Gesichtspunkte betrachtet:

- Wenn bei einer Verbindungsrouten nicht-verfügbare bzw. geerdete Felder oder Schaltgeräte beteiligt sind, wird diese zunächst nicht berücksichtigt.
- Verbindungspfade, die sich über mehrere versorgte Netzbezirke erstrecken und **kein** Schaltgerät mit Synchronisierungsmöglichkeit beinhalten, werden ebenfalls aus der Auswahl herausgenommen.

Als **Sortierkriterien** werden außer der Suchtiefe weitere Details wie die Anzahl der zwischenliegenden Impedanzen, Anzahl zu betätigender Schaltgeräte und der topologische Zustand zwischenliegender Netzbezirke berücksichtigt. Routen, die sich auf- und abwärts über verschiedene Spannungsebenen erstrecken, werden mit sehr niedriger Priorität behandelt. Durch diese mehrstufige Auswahl wird dann eine geordnete Liste potentieller Verbindungsrouten zwischen "AKT-SS" und einem der versorgten Sammelschienen-Abschnitte in der

betrachteten Netz-Insel erstellt. Für den "manuellen Modus" werden zusätzlich umfangreiche Informationen bezüglich der Auswahlkriterien bereitgestellt, um die Auswahl zu unterstützen.

Aus Bild 4.11 ist entnehmbar, daß in diese Prozedur auch aus weiteren Teilen der Wissensbasis verwiesen werden kann. Bei der Überprüfung der Versorgungsrouten bezüglich zwischenliegender Netzbezirke kann beim Vorhandensein einer **weiteren** Insel die Synchronisation dieser beiden Inseln angestrebt werden. Hierbei wird dann ein versorgter Sammelschienen-Abschnitt in der zwischenliegenden Insel als "AKT-ESP-SS" bezeichnet und der ursprünglich ausgewählte "AKT-ESP-SS" als "AKT-SS" umdeklariert. Beim Eintreten in diesen globalen Schritt wird auf den oben erläuterten Teil der Verbindungssuche verwiesen. Der Unterschied besteht lediglich darin, daß beide Sammelschienen-Abschnitte bereits unter Spannung stehen. Daher muß die ausgewählte Verbindungsrouten ein Synchronisiergerät beinhalten.

Dies ist auch erforderlich, wenn die bereits versorgte "AKT-SS" einer weiteren Insel angehört, deren Einspeisungen bereits mit ihrer Nennwirkleistung belastet sind, so daß mit einer weiteren Insel synchronisiert werden muß, um weitere Verbraucher bzw. Eigenbedarfs-Anschlüsse versorgen zu können. Verbindungspfade, die **keine** Synchronisiergeräte beinhalten, werden hier nicht mehr berücksichtigt.

In denjenigen Fällen, in welchen die aktuell untersuchte Verbindungsrouten verworfen wird, wird zunächst nach der Existenz weiterer potentieller Pfade gesucht. Ist dies erfolglos, so wird ein neuer Zyklus in der Wissensbasis gestartet.

Für eine **erfolgreich** ausgewählte Verbindungsrouten wird dann in einem nachfolgenden globalen Schritt (Kap. 4.2.2.2) die Schaltsituation genauer überprüft.

4.2.2.2 Überprüfung der Verbindungsrouten bezüglich der zwischenliegenden Netzbezirke und zu betätigender Schaltgeräte

Die ausgesuchte Verbindungsrouten kann sich zwischen mehreren Netzbezirken erstrecken. Abgesehen von der betrachteten Insel und ggf. dem Netzbezirk von "AKT-SS" können auch weitere Netzbezirke (sog. "**fremde Netzbezirke**") beteiligt sein, indem diesen zugehörige Felder im Wege der betrachteten potentiellen Verbindungsrouten liegen. Gegebenenfalls werden diese auf ihren aktuellen Zustand hinsichtlich der Versorgung bzw. Leistungsbereitstellung überprüft (siehe Bild 4.12).

Bei **versorgten** zwischenliegenden Inseln wird – je nach gewählter Option - durch Dialog oder selbsttätig entschieden, ob eine neue Auswahl des aktuellen Einspeise-Sammelschienen-Abschnittes ("AKT-ESP-SS") erfolgen soll. In diesem Fall wird dann eine neue Verbindungssuche mit dem veränderten Eingangszustand eingeleitet (Kap. 4.2.2.1).

In einen weiteren Schritt wird der zwischenliegende Netzbezirk nach **weiteren** Sammelschienen-Abschnitten abgesucht, die zur Wiederversorgung von Verbrauchern eingesetzt werden können. Diese werden dann dem Betriebsführer mitgeteilt, der somit eine neue Auswahl der "AKT-SS" vornehmen kann, oder die Auswahl erfolgt selbsttätig. An dieser Stelle kann entschieden werden, ob mit der bereits ausgewählten "AKT-SS" weiter fortgefahren werden soll oder Verbraucher mit höherer Priorität in fremden Netzbezirken bevorzugt versorgt werden sollen. Diese Betrachtung entfällt bei der selbsttätigen Auswahl der "AKT-SS", da dieser Aspekt bereits Bestandteil des autonomen Auswahlverfahrens ist (Kap. 3.2.2).

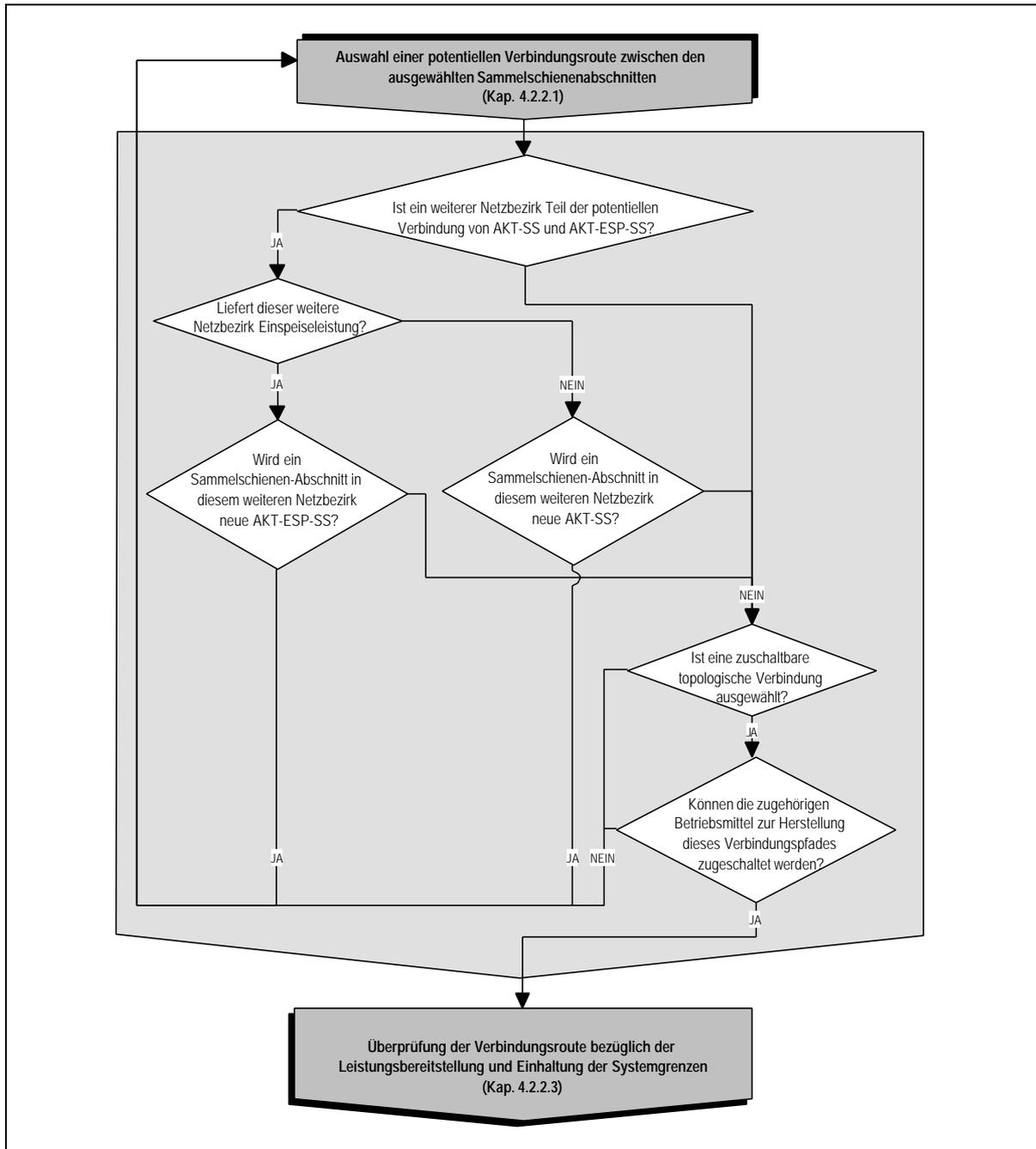


Bild 4.12: Überprüfung eines Verbindungspfadens hinsichtlich zwischenliegender Netzbezirke und zu betätigender Schaltgeräte

Wenn aber an dieser Stelle **keine** neue Auswahl getroffen wird, wird zuerst davon ausgegangen, daß die Versorgung der Verbraucher durch die "AKT-SS" vorrangiges Ziel ist. Als vorbereitende Maßnahme werden dann zweckmäßig alle bereits mit dem unversorgten fremden Netzbezirk verbundenen Verbraucher selbsttätig **abgetrennt**; dadurch ist gewährleistet, daß das ungewollte Zuschalten von Verbrauchern in diesem Bereich vermieden wird.

In weiteren Schritten wird die ausgewählte potentielle Verbindungsrouten genauer auf ihre **Zuschaltbarkeit** hin untersucht. Diese Aufgabe übernimmt ein weiteres Dienstprogramm ("Wegschalter", siehe Kap. 2.4.2 und [HOV-96]) in Kommunikation mit dem Expertensystem für Schaltfolgen und Verriegelung. Als Antwort wird eine entsprechende Schaltfolge aller zu

betätigenden Schaltgeräte zur Verfügung gestellt; außerdem liefert dieses Programm auch eine Liste aller an der Verbindung beteiligten Sammelschienen-Abschnitte, die für die Überprüfung der Verfügbarkeit der einzelnen Betriebsmittel benötigt wird (Bild 4.12). Wenn im Hinblick auf die Konfiguration der einzelnen beteiligten Schaltanlagen die interne Umschaltung auf die bereits in vorherigen Schritt ermittelten Ausgangsfelder **nicht** möglich ist, wird die Verbindungsrouten verworfen.

Weiterhin erstellt das Dienstprogramm eine Liste der **nicht kuppelbaren Felder** innerhalb einer Schaltanlage, wenn dadurch die Verbindungsrouten nicht hergestellt werden kann; diese werden auch in der dynamischen Faktenbasis vermerkt und bei weiteren Suchvorgängen als Ausschlußkriterien herangezogen (Kap. 4.2.2.1).

Nach der Erstellung einer detaillierten Liste der zu betätigenden Schaltgeräte durch das Expertensystem für Schaltfolgen und Verriegelung wird in einem weiteren Schritt der **aktuelle Zustand** der beteiligten Betriebsmittel überprüft (Bild 4.12). Dazu werden zuerst alle an der Herstellung der Verbindungsrouten beteiligten Felder auf ihre Verfügbarkeit hin überprüft. Die Liste aller nicht verfügbaren Felder wurde bereits im vorherigen globalen Schritt (Kap. 4.2.2.1) erstellt und für die Vorauswahl der Verbindungsrouten eingesetzt.

In nächsten Schritt wird die **Bereitschaft** der einzelnen Schaltgeräte aus der Prozeßdatenbank abgefragt. Ein als gestört eingetragenes Schaltgerät führt zur neuerlichen Auswahl einer potentiellen Verbindungsrouten.

Falls die ausgewählte Verbindungsrouten prinzipiell zuschaltbar ist, werden an dieser Stelle als weitere vorbereitende Maßnahme die beteiligten Felder aus den **fremden Netzbezirken** herausgetrennt, um weitere unbeabsichtigte Zuschaltungen zu vermeiden. Hierbei wird zuerst eine Liste aller nicht versorgten Netzbezirken, die aktuell mit den beteiligten Betriebsmitteln verbunden sind, erstellt. An Hand der vorliegenden Liste aller am Verbindungspfad beteiligten Sammelschienen-Abschnitte werden dann die nach außerhalb der jeweilige Schaltanlage führenden Felder, die ihrerseits **nicht** an der aktuell zu erstellenden Durchschaltung beteiligt sind, aber gleichzeitig zu einem **nicht versorgten Netzbezirk** gehören, aussortiert. Weitere Schnittstellen-Routinen (Kap. 4.1.2.3) filtern aus der Topologie-Liste des Expertensystems für Schaltfolgen und Verriegelung diejenigen Sammelschienen-Abschnitte heraus, die potentiell mit diesen Feldern direkt verbindbar sind und zu derselben Schaltanlage gehören; diese werden dann nach Überprüfung ihrer aktuell geschalteten Zugehörigkeit zu den beteiligten unversorgten fremden Netzbezirken als **Abschaltziel** vorgemerkt, um in einem entsprechenden Auftrag an das Expertensystem für Schaltfolgen und Verriegelung weitergeleitet werden können.

Es kann auch vorkommen, daß an der Verbindungsrouten beteiligte Leitungs- oder Transformator-Felder gleichzeitig mit mehreren Sammelschienen-Abschnitten, die ihrerseits **nicht** bei der Herstellung dieser Verbindungsrouten beteiligt sind, aktuell verbunden sind. Diese fremden unversorgten Sammelschienen-Abschnitte werden ebenfalls als Abschaltziel in einem entsprechenden Auftrag vorgemerkt.

Nach diesen Feststellungen wird dann durch das Expertensystem für Schaltfolgen und Verriegelung die jeweilige für die gezielte Abschaltung erforderliche **Schaltfolge** ermittelt und durch aktionsausführende Dienstprogramme (Kap. 2.4.4) soweit wie möglich selbsttätig ausgeführt.

Nach **erfolgreicher** Durchführung dieser Maßnahmen wird prospektiv die verfügbare Leistung und die Einhaltung der Systemgrenzen nach der Herstellen dieser Verbindung überprüft (Kap. 4.2.2.3).

4.2.2.3 Überprüfung der Verbindungsrouten bezüglich der Leistungsbereitstellung und Einhaltung der Systemgrenzen

Im letzten Teil der Überprüfung der aktuell zum Durchschalten ausgewählten Verbindungsrouten wird diese **prospektiv** im Hinblick auf die Leistungsreserven und Einhaltung der Systemgrenzen untersucht (Bild 4.13).

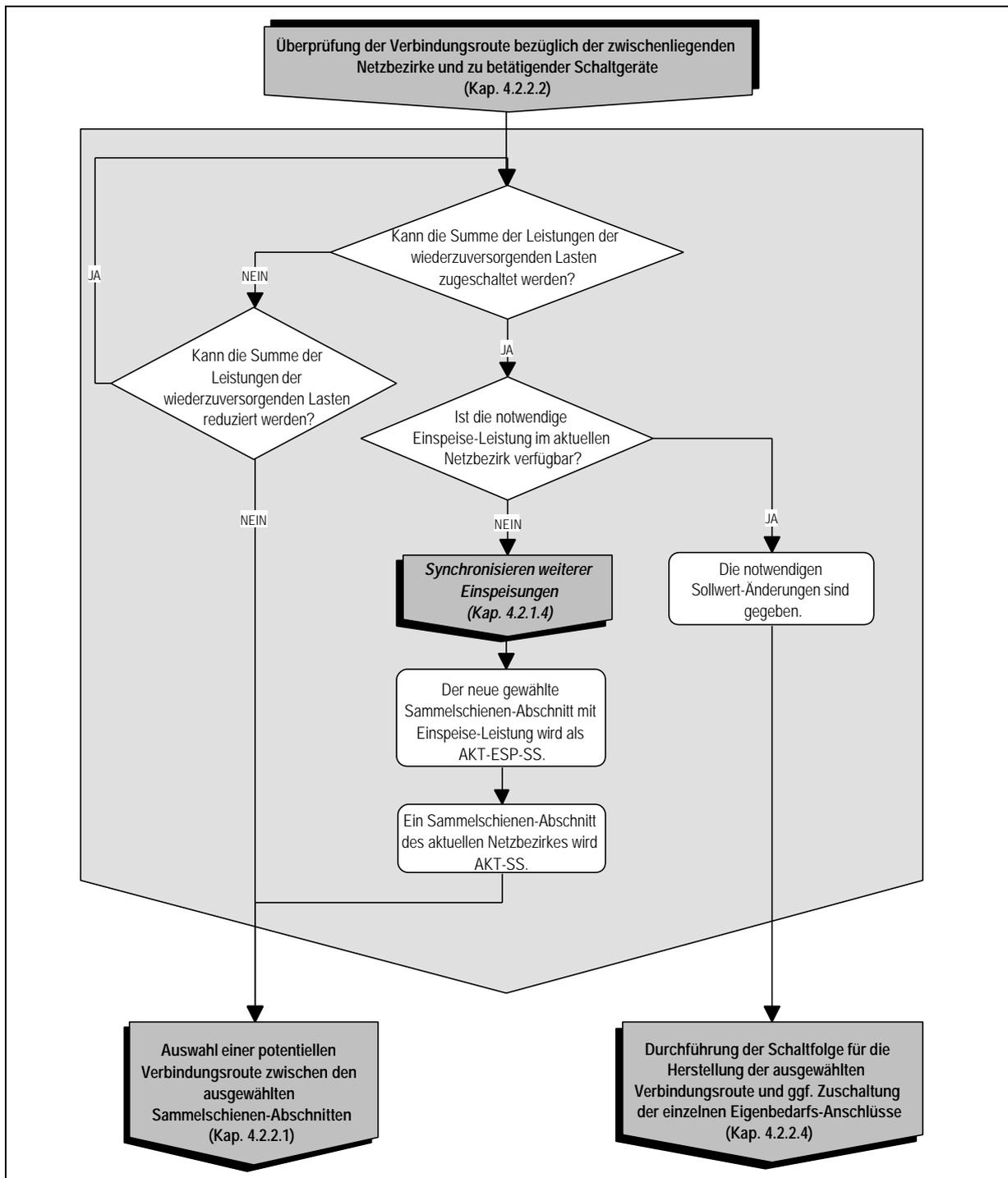


Bild 4.13: Überprüfung der Verbindungsrouten im Hinblick auf die Einhaltung der Systemgrenzen und der Leistungsreserve im Netz

a) Berechnung der angeforderten Wirkleistungsreserve

Zunächst wird die **Zugehörigkeit** der einzelnen Verbraucher zu den am Verbindungspfad beteiligten Netzbezirken untersucht. Diese dürfen an dieser Stelle nur in dem Netzbezirk der "AKT-SS" und auch als versorgte Verbraucher in der bereits bestehenden Insel vorkommen, wenn der Zustand des Netzes – abgesehen von den zuvor beschriebenen Abschaltungsmaßnahmen in unversorgten Netzbereichen – aus topologischer Sicht unverändert geblieben ist. Sodann wird die **Summe** der Leistungen aller bei Durchschaltung der betrachteten Verbindungsrouten zusätzlich ans Netz kommenden Verbraucher aus Einträgen in der Prozeßdatenbank des Trainingssimulators ermittelt (bei den Eigenbedarfs-Anschlüssen wird für eine Abschätzung zur sicheren Seite hin die Eigenbedarfs-Nennleistung angesetzt) und mit einem als Default vorgegebenen Sicherheits-Zuschlag (zur Zeit 15 %, siehe Kap. 4.2.1.5) versehen. Diese Leistung muß zum Ausführen der Durchschaltung zusätzlich bereitgestellt werden können, siehe Punkt c).

b) Prognostische Netzberechnung

Vor Ausführen der Durchschaltung wird aber noch ein weiterer prospektiver Schritt ausgeführt: Die vorausschauende Überprüfung, ob die **Systemgrenzen** im Netz (Spannungsgrenzen, Belastungsgrenzen, Frequenzgrenzen) nach Durchschaltung der Verbindungsrouten eingehalten werden. Als erstes wird hierfür eine **Kopie** des aktuellen Zustandes der Prozeßdatenbank durch ein entsprechendes Dienstprogramm (Kap. 2.4.3 und [BLE-96]) hergestellt. In diese Kopie werden dann die vorgesehenen **Schalthandlungen**, die für die Herstellung dieser Verbindungsrouten bereits ermittelt worden sind, eingetragen. Durch ein weiteres Dienstprogramm (Kap. 2.4.3 und [BLE-96]) wird eine **Lastflußberechnung** zur Feststellung der zu erwartenden Leistungs- und Spannungswerte im Netz durchgeführt; diese Ergebnisse werden von einem weiteren Dienstprogramm (Kap. 2.4.3 und [SPA-98]) mit den in der Prozeßdatenbank des Trainingssimulators vermerkten Grenzwerten verglichen und ggf. Überschreitungen festgestellt. Entsprechend dem Ergebnis beurteilt die zentrale Steuerungskomponente die vorgesehene Durchschaltung als zulässig oder nicht. Eine zu erwartende Verletzung führt zu dem Versuch, die zu versorgende Verbraucherlast zu reduzieren (Kap. 3.2.3) bzw. auf eine neue Auswahl der Verbindungsrouten (Bild 4.13).

c) Bereitstellen der benötigten Leistungsreserve im Netz

In einem weiteren Schritt wird die Verfügbarkeit der notwendigen Einspeiseleistung im aktuellen Netzbezirk überprüft. Zuerst werden dazu alle synchronisierten Einspeisungen in der aktuellen Insel herausgesucht und in einer Zwischenanalyse anhand deren Nennleistungen die aktuelle "**Nennwirkleistungsreserve**" mit der in der dynamischen Faktenbasis vermerkten noch benötigten Leistungsreserve verglichen. Wenn die Nennwirkleistungsreserve ausreichend ist (also keine weiteren Einspeisungen mehr aktiviert werden müssen), wird eine genauere Analyse der aktuell zulässigen maximalen Sprungleistung der Einspeisungen vorgenommen. Hierzu wird an ein Dienstprogramm (Kap. 2.4.2 und [GOR-96]) der Auftrag erteilt, die Verfügbarkeit der notwendigen freien Leistung im Hinblick auf die maximal zulässige Sprungleistung zu überprüfen. Falls die benötigte Leistungsreserve nicht besteht, wird eine Reduzierung der mit der untersuchten Verbindungsrouten aktuell durchgeschalteten, aber noch unversorgten Verbraucherlast in Betracht gezogen (Bild 4.13). Es kann aber auch vorkommen, daß eine solche Reduzierung nicht erwünscht oder möglich ist; dann wird versucht, durch Synchronisation weiterer Einspeisungen die verfügbare Nennwirkleistungsreserve zu erhöhen, oder es kann eine

neue Auswahl der aktuell betrachteten Netz-Insel erfolgen (Bild 4.7). Dieser Schritt kann auch zur Vereinigung zweier Inseln führen, was bevorzugt versucht wird. Die Vorgehensweise unter Berücksichtigung des Vorhandenseins einer Synchronisierungsmöglichkeit wurde bereits in Kap. 4.2.2.1 beschrieben.

d) Reduzierung der unmittelbar zu versorgenden Verbraucher durch die betrachtete Verbindungsrouten

Für den Fall, daß die aktuell wiederzuversorgende Verbraucherleistung **reduziert** werden soll, wird diese Entscheidung auf ihre Durchführbarkeit hin überprüft. Dazu werden zuerst alle mit der betrachteten Verbindungsrouten topologisch verbundenen und aktuell unversorgten Verbraucher herausgesucht und hinsichtlich der Verfügbarkeit der entsprechenden beteiligten Betriebsmittel aussortiert.

Auch in diese Entscheidungen kann der **Betriebsführer** optional mit einbezogen werden; dann werden die entsprechenden abschaltbaren Lasten mit zusätzlichen Informationen über ihre Leistung und die aktuellen Topologieverhältnisse (z.B. Erdung) aufgelistet und außerdem die insgesamt verfügbare freie Leistung (ermittelt aus aktueller und maximal zulässiger Leistungsabnahme aus der betrachteten Insel) angezeigt. Für eine autonome Entscheidung des Netzwiederaufbau-Systems wurde ein entsprechendes Dienstprogramm ("Lastauswahl", siehe Kap. 3.2.3) implementiert. Die Ausführung der somit getroffenen Entscheidung kann dann entweder von Betriebsführer vorgenommen und anschließend von Expertensystem überprüft werden oder ebenfalls autonom erfolgen. Beim **automatischen** Modus wird versucht, eine geeignete Portion der Verbraucherlast, die gerade der maximal verfügbaren Leistung in der betrachteten Insel gerecht wird, auszuwählen und dann die entsprechenden Schaltfolgen mit Hilfe des Expertensystems für Schaltfolgen und Verriegelung sowie von aktionsausführenden Dienstprogrammen (Kap. 2.4.4) selbsttätig auszuführen.

Nachfolgend wird die Überprüfung der Leistungsbereitstellung **erneut** vorgenommen (Bild 4.13). Ist (z.B. durch Entscheidung des Betriebsführers) keine Reduzierung der zuzuschaltenden Verbraucherleistung erfolgt, wird als Alternative entweder eine neue Möglichkeit der Lastversorgung untersucht oder die Auswahl einer Verbraucher-Sammelschiene veranlaßt (Bild 4.11).

e) Anpassung der notwendigen Leistungsreserve im Netz

Außer der zuvor betrachteten Orientierung an den Nennleistungen der synchronisierten Kraftwerks-Blöcke muß durch ein weiteres Dienstprogramm "Sollwertfeststeller" (Kap. 2.4.2) überprüft werden, ob diese aktuell auch die zur Herstellung der betrachteten Zuschaltung erforderliche Sprungleistung [SPA-98] aufbringen können; gegebenenfalls müssen Leistungs-Sollwerte erhöht werden. Die Vorgabe **neuer Sollwerte** an die Kraftwerke kann entweder durch Dialog mit dem Betriebsführer oder selbsttätig mittels der dafür geschaffenen direkten Schnittstellen-Routinen zur Prozeß-Ankoppelung (Kap. 4.1.2.3) erreicht werden. Bei externen Einspeisungen wird grundsätzlich im Dialog verfahren, da Absprache mit der entsprechenden Leitstelle erforderlich ist. Nach einer Sollwertvorgabe an Kraftwerks-Blöcke wird außerdem – wiederum über Dienstprogramme [GRO-96] – der **Zeitpunkt** zur sicheren Seite hin abgeschätzt, zu welchem die entsprechende Leistung auch tatsächlich verfügbar ist. Nach dessen Erreichen wird die Herstellung der betrachteten Durchverbindung freigegeben.

4.2.2.4 Durchführung der Schaltfolge für die Herstellung der ausgewählten Verbindungsroute und ggf. Zuschaltung der einzelnen Eigenbedarfs-Anschlüsse

Nach der umfangreichen Überprüfung der betrachteten Verbindungsroute wird durch eine weitere Regelmenge die Herstellung der Durchverbindung behandelt (Bild 4.14).

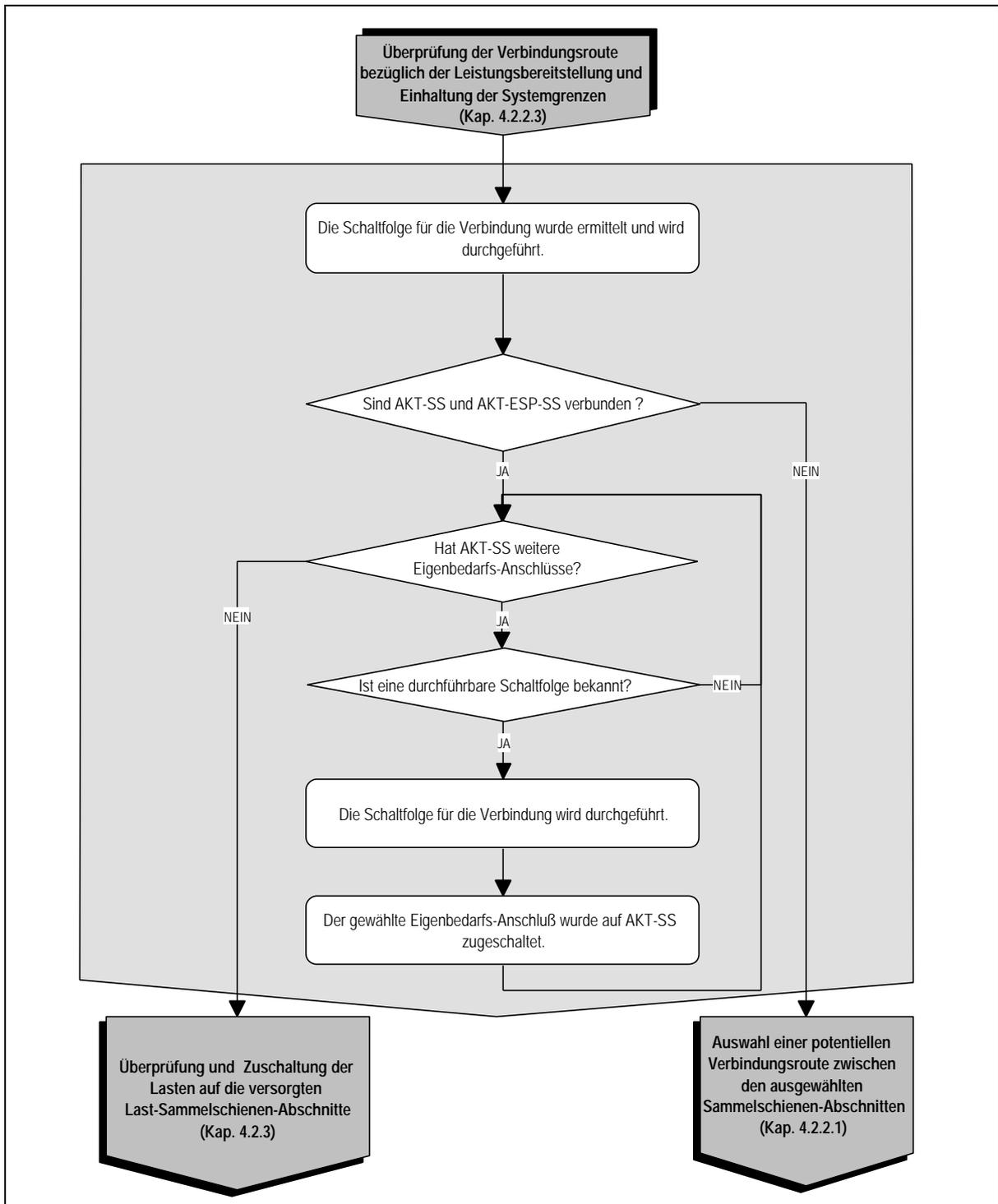


Bild 4.14: Herstellung der ausgewählten Verbindungsroute und ggf. Zuschaltung einzelner Eigenbedarfs-Anschlüsse

Diese beginnt mit dem nochmaligen Einholen der erforderlichen **Schaltfolgen** aus dem entsprechenden Dienstprogramm ("Wegschalter", siehe Kap. 2.4.2 und [HOV-96]); die einzelnen Befehlssätze werden an das zuständige ausführende Dienstprogramm (Kap. 2.4.4 und [SPA-98]) weitergeleitet und dann einzeln nach jeweiliger Überprüfung der Fernsteuerbarkeit der betreffenden Schaltgeräte entweder selbsttätig oder anderenfalls im Dialog mit dem Betriebsführer ausgeführt.

In weiteren Verlauf wird überprüft, ob die "AKT-SS" mit der betrachteten Insel endgültig **verbunden** ist; sie wird dann in den nächsten Schritten für die Wiederversorgung der ggf. vorhandenen Lasten und Eigenbedarfs-Anschlüsse eingesetzt.

Die **versorgten** Sammelschienen-Abschnitte, die derselben Anlage wie "AKT-SS" angehören, werden durch eine topologische Überprüfung herausgefunden und bezüglich unmittelbar unter Spannung setzbarer **Eigenbedarfs-Anschlüsse** untersucht. Bei der Unter-Spannung-Setzung solcher unversorgter Eigenbedarfs-Anschlüsse sind zunächst **keine** Maßnahmen zur Leistungsbereitstellung erforderlich. Diese werden erst relevant, wenn eine Zustandsänderung des betreffenden Kraftwerks-Blockes (z.B. Anfahren der Pumpen usw.) eingeleitet werden soll. Ergebnis dieser Untersuchung ist eine Liste aller noch zu versorgenden Eigenbedarfs-Anschlüsse für die Auswahl derjenigen, die als nächste zugeschaltet werden sollen.

Die jeweilige **Zuschaltbarkeit** der einzelnen Eigenbedarfs-Anschlüsse wird anhand der Verfügbarkeit der beteiligten Betriebsmittel (Funktionsbereitschaft der einzelnen Schaltgeräte, Erdung der Felder) überprüft und eventuell vorliegende Störungsmeldungen dem Betriebsführer mitgeteilt.

Entweder im Dialog oder selbsttätig (je nach gewählter Option) wird dann ein Eigenbedarfs-Anschluß ausgewählt und im nächsten Schritt eine Verbindungsrouten für dessen Unter-Spannung-Setzung abgeleitet und hergestellt (Bild 4.14). Ist dieses nicht möglich – z.B. wenn der Betriebsführer eine nicht zuschaltbare Wahl getroffen hat –, wird eine **neue Auswahl** angestrebt (Bild 4.14).

Dieser Ablauf wird zyklisch solange vorangetrieben, bis alle zuschaltbaren Eigenbedarfs-Anschlüsse versorgt sind bzw. vom Betriebsführer die weitere Auswahl unterbrochen wurde. In beiden Fällen wird dann die Wiederversorgung der einzelnen Lasten (Kap. 4.2.3) untersucht.

4.2.3 Überprüfung und Zuschaltung der Lasten auf die versorgten Last-Sammelschienen-Abschnitte

Aus verschiedenen Teilen der Wissensbasis kann auf diesen globalen Schritt (Bild 4.15) verwiesen werden; daher ist die jeweilige Vorgeschichte zu berücksichtigen.

Zuerst wird überprüft, ob bereits eine **Auswahl** eines bereits versorgten Sammelschienen-Abschnittes ("AKT-SS") getroffen ist. Ist dies nicht der Fall, wird eine entsprechende Auswahl aus allen **versorgten** Sammelschienen-Abschnitten, die zur Wiederversorgung von Verbrauchern beitragen können, veranlaßt; dies allerdings nur dann, wenn zuvor festgestellt wurde, daß immer noch unversorgte Verbraucher vorhanden sind.

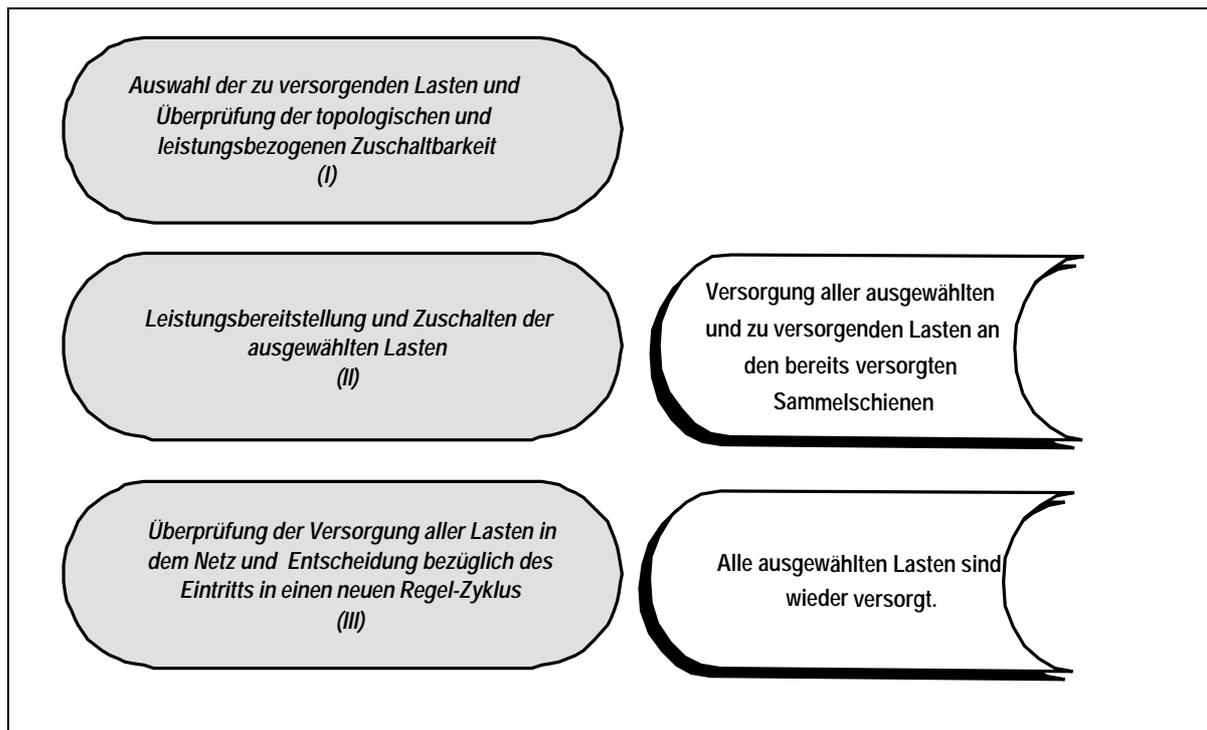


Bild 4.15: Versorgung der Lasten über den bzw. die versorgten Last-Sammelschienen-Abschnitte(n)

Nach entsprechender Suche erfolgt eine Auflistung der somit herausgefundenen versorgten Sammelschienen-Abschnitte. Diese Liste wird dann in Dialog mit dem Betriebsführer oder selbsttätig durch die Ergebnisse aus dem Dienstprogramm "Lastauswahl" unter Berücksichtigung von Priorisierungen (Kap. 3.2.4) ausgewertet.

Im Dialogfall wird eine Reihe von Detail-Informationen bereitgestellt (z.B. Auflistung wieder-versorgbarer Lasten und ihre Leistungsmerkmale, topologischer Schaltzustand des jeweiligen Abgangsfeldes). Der Anwender kann diese Auswahl auch unterbrechen und damit einen neuen Zyklus veranlassen (Bild 4.16).

Nachdem ein entsprechender Sammelschienen-Abschnitt festgelegt ist, werden diejenigen Lasten, die über diesen topologisch wiederversorgt werden können, herausgestellt. Aus diesen kann der Betriebsführer anhand der mitgegebenen Begleitinformationen eine **Auswahl** bezüglich der nächsten zu versorgenden Last treffen. Im Rahmen des optionalen autonomen Modus übernimmt ein Dienstprogramm diesen Auftrag (Kap. 3.2.4).

In nächsten Schritt wird die ausgewählte Last auf ihre **Zuschaltbarkeit** hin überprüft. Die möglichen Verbindungsrouten zum jeweils versorgten Sammelschienen-Abschnitt ("AKT-SS") werden herausgefunden und bezüglich ihrer topologischen Zuschaltbarkeit untersucht. Bei der Feststellung einer Störung eines der beteiligten Betriebsmittel wird diese dem Betriebsführer mitgeteilt und eine neue Auswahl aus den vorhandenen Lasten veranlaßt (Bild 4.16).

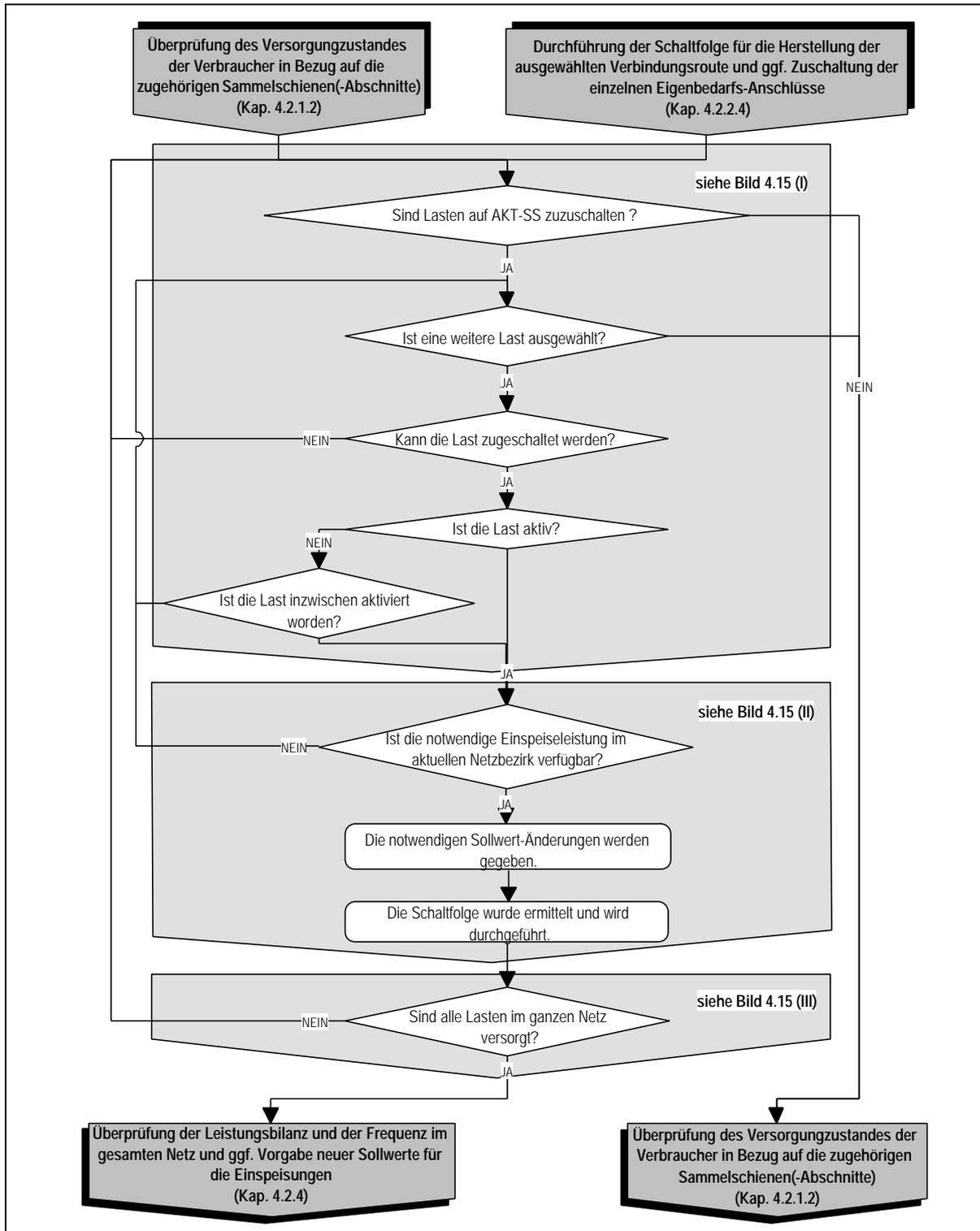


Bild 4.16: Wiederversorgung einzelner Verbraucher

Die somit getroffene Auswahl wird dann auf ihre potentielle Leistungsaufnahme (Kap. 3.2.1) hin untersucht. Dies geschieht durch Auswertung der entsprechenden Datensätze durch datenbeschaffende Dienstprogramme (Kap. 2.4.1). Hierbei wird der zu erwartende Leistungszuwachs im Netz auch mit dem Sicherheits-Zuschlag (15%, siehe Kap. 4.2.1.5) beaufschlagt und anschließend in der dynamischen Faktenbasis vermerkt.

Vor dem Zuschalten muß die Bereitstellung der entsprechenden Wirkleistung sichergestellt werden. Als erstes wird dazu bei der betrachteten Insel die Summe der Nennleistungen aller beteiligten synchronisierten Einspeisungen ermittelt und diese mit dem nach der Zuschaltung insgesamt benötigten Leistungsbedarf verglichen. Wenn dieser die Nennleistungs-Summe nicht überschreitet, wird durch Aufruf eines Dienstprogrammes ("Sollwertfeststeller", siehe Kap. 2.4.2 und [GOR-96]) festgestellt, ob die erforderliche Sprungleistung in der betrachteten Netz-Insel zur Verfügung steht bzw. durch neue **Sollwertvorgaben** an die beteiligten Kraftwerke erreicht werden kann. Gegebenenfalls werden die erforderlichen Sollwertvorgaben ermittelt und erteilt; nach einer zum Erreichen der Leistungsbereitstellung zur sicheren Seite hin abgeschätzten Zeit wird die Durchschaltung der jeweiligen Last eingeleitet.

Es kann nicht in allen Fällen vorausgesetzt werden, daß die betrachtete Last nicht mit einem **weiteren** unversorgten Netzbezirk topologisch verbunden ist. Dies könnte bei Durchschaltung zu dieser Last eine unbeabsichtigte Verbindung mit weiteren Netzbezirken und unklarer Belastungssituation verursachen. Aus diesem Grund wird vorbereitend dafür gesorgt, daß die betrachtete Last zuerst von allen weiteren unversorgten Sammelschienen-Abschnitten getrennt wird. Dies wird durch entsprechende topologische Suche nach einer solchen aktuell bestehenden Verbindung sowie die Ermittlung und Ausführung der Schaltfolge für deren Abschaltung mittels des Expertensystems für Schaltfolgen und Verriegelung durch ein aktionsausführendes Dienstprogramm (Kap. 2.4.4) veranlaßt.

Nach dieser Vorbereitung erfolgt die eigentliche **Zuschaltung** der Last auf den betrachteten versorgten Sammelschienen-Abschnitt ("AKT-SS"). Hierbei wird zuerst wiederum eine geeignete Verbindungsrouten ausgesucht. Diese ergibt sich aus dem aktuellen topologischen Zustand der beteiligten Felder. In vielen Fällen wird dazu der hinsichtlich Stellung der Trenner bereits vor der Störung bestehende Pfad ausgewählt, da dann die Herstellung der Durchverbindung mit wenigen Schalthandlungen herbeigeführt werden kann. Die Durchführung dieser Schalthandlungen wird dann wie schon mehrfach beschrieben ausgeführt und anschließend das Bestehen der gewünschten Verbindung untersucht.

In einem weiteren Schritt wird sodann überprüft, ob **alle Lasten** im Netz versorgt sind; auf diesen Schritt kann aber auch von anderer Stelle aus verwiesen werden (Bild 4.16). Ist dies noch nicht erfüllt, so wird so lange erneut in den zyklischen Ablauf eingetreten, bis die Versorgung bezüglich der über den aktuellen Sammelschienen-Abschnitt zu erreichenden Lasten bzw. überlagert im gesamten Netz abgeschlossen ist. Im letzteren Fall wird dann noch unter Betrachtung der Leistungsbilanz im gesamten Netz die Angleichung der Frequenz an den vorgegebenen Sollwert angestrebt.

4.2.4 Überprüfung der Leistungsbilanz und der Frequenz im gesamten Netz und ggf. Vorgabe neuer Sollwerte für die Einspeisungen

Die eigentliche Wiederschaltung aller Verbraucher ist als grundlegendes Ziel des Gesamtsystems (Kap. 2.1) beim **Eintritt** in diesen globalen Schritt (Bild 4.17) bereits abgeschlossen. Die Rückkehr zu einem **normalen Netzbetrieb** nach dem Netzwiederaufbau schließt eine Vielzahl weiterer Maßnahmen ein (z.B. das Schließen von Maschen, den Ausgleich des Spannungsprofils oder die Optimierung des Netzzustandes). Alle diese Kriterien können jedoch ohne den immensen **Zeitdruck** erfüllt werden, wie er bei der reinen Wiederversorgung der Verbraucher herrscht. Das derzeitige Netzwiederaufbau-System schließt daher diese Maßnahmen nicht mit ein und endet vielmehr mit einem Abgleich der Netzfrequenz auf den Nominalwert.

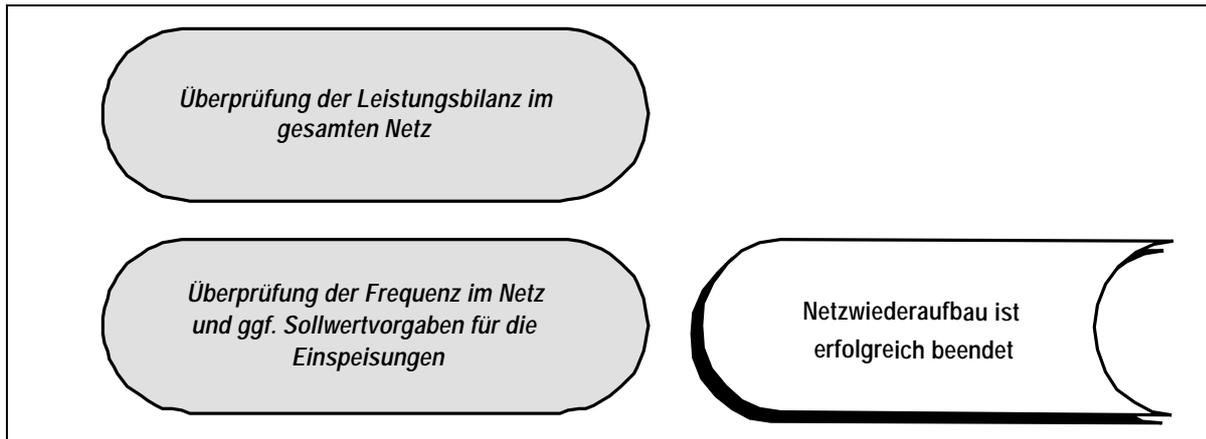


Bild 4.17: Frequenzabgleich und Ende des Netzwiederaufbaus

Wenn keine unversorgten Verbraucher mehr gefunden werden, wird nach Abwarten einer vorgegebenen Wartezeit – um Frequenzpendelungen ausklingen zu lassen – eine **Leistungsbilanz** im Netz gezogen (Bild 4.17); sollten noch mehrere Netz-Inseln existieren, so erfolgt dieser Vorgang jeweils getrennt für jede Insel.

Liegt "Frequenzruhe" vor, so wird eine gegebenenfalls vorliegende Abweichung der Frequenz vom Nominalwert durch Ermittlung und Vergabe **neuer Sollwerte** für die Kraftwerke ausgeglichen. Der Vorgang und die beteiligten Dienstprogramme entsprechen denjenigen, die bei der Lastzuschaltung (Kap. 4.2.3) bereits genannt wurden. Auch hier kann je nach gewählter Option das Netzwiederaufbau-System autonom handeln oder der Betriebsführer die Eingriffe vornehmen.

Wenn die Einstellung der Frequenz im Netz auf den Nennwert **erfolgreich** war, wird dies als das Erreichen des Endzieles angesehen, und damit ist der Netzwiederaufbau erfolgreich abgeschlossen.

4.3 Abschließende Bemerkungen zur Realisierung

Aus der vorangegangenen skizzenhaften Beschreibung der komplexen Funktionalität der zentralen Steuerungskomponente ist ersichtlich, daß die zugrundeliegende **symbolbasierte** Realisierung im Hinblick auf eine überschaubare und umfangreiche Fallunterscheidung und Abspeicherung der Zwischenergebnisse in der Faktenbasis vorteilhaft ist.

Die **Zentralisierung** sowohl der Steuerung aller Dienstprogramme als der Auswertung ihrer Ergebnisse ist ein weiterer Gesichtspunkt, der sich beim Zusammensetzen des Gesamtsystems bewährt hat. Die Navigation zwischen verschiedenen Regeln – die von der Inferenzkomponente übernommen wird (Kap. 2.3) – wurde bei der Implementierung der zentralen Steuerungskomponente in allen potentiell möglichen Kombinationen berücksichtigt, und die sich dadurch ergebenden Konsequenzen kommen durch die Abspeicherung der Zwischenergebnisse in der Faktenbasis und deren Auswertung bei der Bearbeitung weiterer

Teilaufgaben durch die Inferenzkomponente zum Tragen. Trotz solcher Individualität ist dieser aufwendige Prozeß im gesamten Konzept **modular** aufgebaut, was auch eine Einbindung weiterer Komponenten erleichtert.

Die **Abspeicherung von Zwischenergebnissen** in der Faktenbasis ermöglicht es, bei der optionalen **Erläuterung** der Vorgehensweise zum Netzwiederaufbau **jeden** einzelnen Schritt, der zur Auswertung einer Regel-Bedingung beigetragen hat, bis zum erwünschten Detailgrad zu rekonstruieren, siehe Kap. 6.2.

Das realisierte Konzept bietet auch zahlreiche in ihrem jeweiligen Aufgabenbereich eindeutig definierte Teilprädikate, die im Falle einer optional möglichen Ergänzung der Wissensbasis um zusätzliche **netzspezifische Regeln** (Kap. 5) verwendet werden können. Bei der Verifikation des Gesamtsystems hat sich zwar an mehreren Beispiel-Szenarien in unterschiedlichen Netzen gezeigt, daß ein physikalisch sinnvoller Netzwiederaufbau allein auf Basis der implementierten generischen Regeln vollzogen werden konnte (Kap. 7); dennoch können Erweiterungen der Wissensbasis erwünscht sein, um zum Beispiel unternehmensspezifische Vorgehensweisen zusätzlich einzubringen. Solche Eingriffe in die Struktur der Wissensbasis sind aber ein sehr sorgfältig auszuführender Prozeß, der im nächsten Kapitel behandelt wird.

