

# LASTFOLGEBETRIEB UND PRIMÄRREGELUNG

## ERFAHRUNGEN MIT DEM VERHALTEN DES REAKTORS

Martin Frank

E.ON Kernkraft GmbH  
Kernkraftwerk Isar

### 1. Leistungsregelung des Siedewasserreaktors

Laständerungen können beim Siedewasserreaktor mit Steuerstäben oder durch Variation des Kerndurchsatzes durchgeführt werden.

#### 1.1 Laständerungen durch Verfahren von Steuerstäben

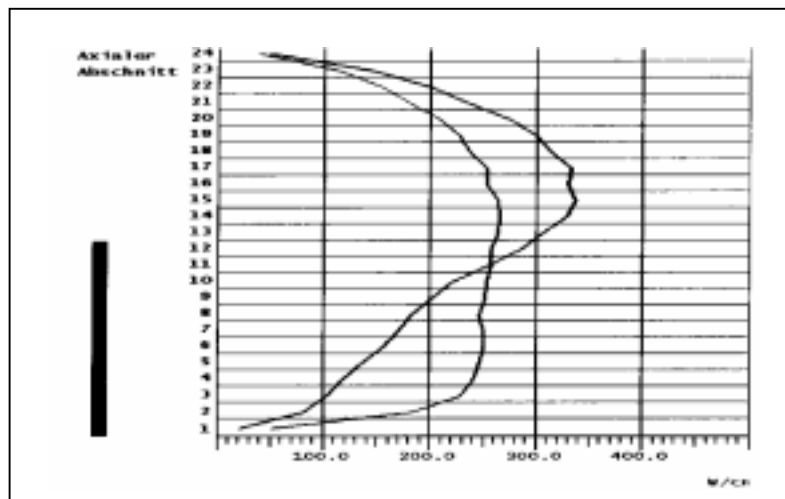
Laständerungen mit Steuerstäben werden vorwiegend beim Anfahren des Reaktors bei niedrigem Kerndurchsatz und geringer Reaktorleistung vorgenommen.

Für den Lastfolgebetrieb sind Laständerungen mit den Steuerstäben aus folgenden Gründen nicht geeignet.

- Die Laständerungsgeschwindigkeit ist relativ niedrig und hängt von der Ausfahrlänge und der radialen Position der Steuerstäbe im Reaktor ab.
- Die lokale Brennstoffbelastung ist sehr hoch weil sich die Leistung nur in den betroffenen Steuerstabzellen verändert.
- Die Leistungsverteilung im Kern wird stark verändert, was sich negativ auf die lokale Brennstoffbelastung auswirkt (Bild 1).

Änderung der Leistungsverteilung beim Verfahren eines Steuerstabes:

Bild 1



## 1.2 Laständerungen durch Variation des Kerndurchsatzes

Durch Änderung des Kerndurchsatzes mittels der Zwangsumwälzpumpen (ZUP) ändert sich der mittlere Dampfblasengehalt im Kern und damit die Moderation.

Dies ist die übliche Methode, Lastfolgebetrieb beim SWR durchzuführen.

Die Vorteile sind:

- Die Leistungsverteilung im Kern bleibt nahezu unverändert. Die Laständerung wird damit gleichmäßig auf den Reaktorkern verteilt.
- Die Laständerung kann theoretisch mit einer Laständerungsgeschwindigkeit von 10 % / s durchgeführt werden.

Der maximale Lasthub auf der 100% Umwälzkennlinie beträgt ca. 40%.

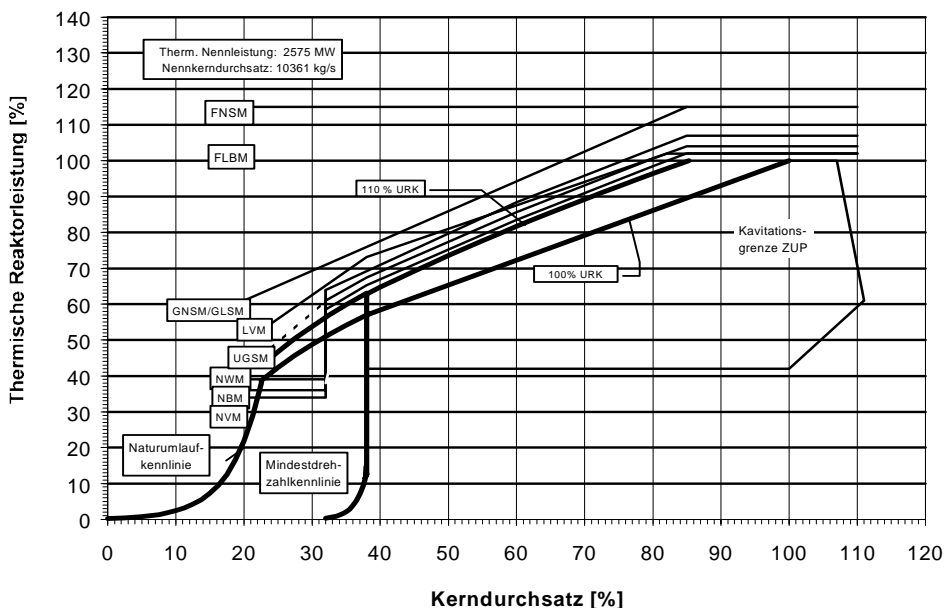
Bei längerer Teillastdauer müssen wegen der Änderungen der Xenonkonzentration Steuerstäbe eingefahren werden, um nicht in Begrenzungen des Betriebskennfeldes zu gelangen.

Stellt man aus Gründen der Brennstoffbelastung die Anforderung, ohne Steuerstabbewegungen beim Lastfolgebetrieb auszukommen, so muss der maximal zulässige Lasthub eingeschränkt werden.

Bei Ausfall von Zwangsumwälzpumpen ist auf Neutronenflussschwingungen (Kernstabilität) zu achten.

Diese Schwingungen treten bevorzugt bei großem Leistungs-Durchsatzverhältnis auf. Sie entstehen aus Störungen z.B. Druck- oder Durchsatzschwankungen, die sich über die thermohydraulische-neutronenphysikalische Rückkopplung zwischen Zweiphasen- und Einphasendruckverlust im Brennelementkanal fortpflanzen.

## 2. Das Reaktorbetriebskennfeld des Siedewasserreaktors



Im Reaktorbetriebskennfeld sind die sog. Umwälzregelkennlinien (URK) eingezeichnet, d.h. die thermische Reaktorleistung in Abhängigkeit vom Kerndurchsatz wird dargestellt.

- Die Naturumlaufkennlinie markiert den Bereich bei abgeschalteten Zwangsumwälzpumpen (ZUP).
- Die Mindestdrehzahlkennlinie zeigt den Verlauf bei Mindestdrehzahl der ZUP von 585 U/min entsprechend einem Kerndurchsatz von ca. 38 %.
- Die 100 % Umwälzkennlinie (100%-URK) zeigt bei konstantem Steuerstabbild den Verlauf der thermischen Reaktorleistung bei schnellen Abfahren der ZUP von 100% Leistung und 100% Kerndurchsatz und Vollast-Xenonvergiftung.
- Die 110 % Umwälzkennlinie ist wie die 100%-URK definiert nur ist der Startpunkt bei 85 % Kerndurchsatz. Würde man gedanklich den Kerndurchsatz auf 100 % erhöhen, so ergäbe sich eine thermische Reaktorleistung von 110 %.  
Diese Kennlinie stellt den oberen Grenzbereich des Betriebskennfeldes dar.

2 % über der 110%-URK beginnen die gleitenden Begrenzungsmarken welche verhindern, dass unzulässige Bereiche des Betriebskennfeldes angefahren werden.

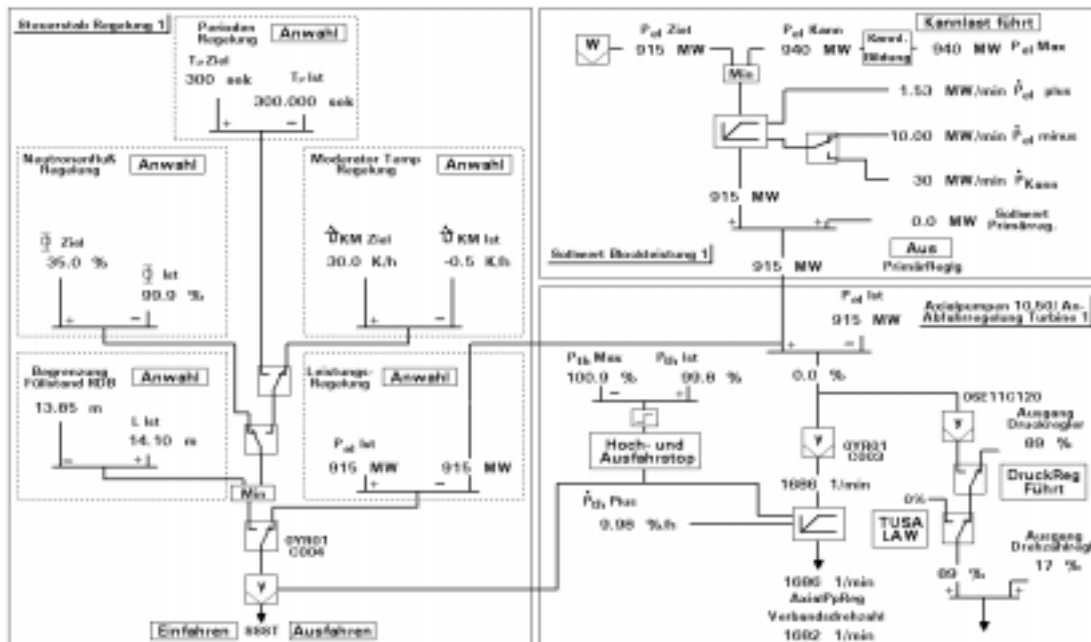
### **3. Verbesserung der Blockleistungsregelung**

Um die Anlage für die Anforderungen des Lastfolgebetriebes zu rüsten wurde 2001 die Blockleistungsregelung verbessert.

Zielsetzung war:

- Systemerneuerung wegen Produktauslauf von Komponenten. Einsatz eines Systems auf dem Stand der neuesten Automatisierungstechnik.
- Verhinderung des fehlerhaften Hochlaufens von mehr als 2 Zwangsumwälzpumpen durch einen entsprechenden Systemaufbau.
- Ein beliebiger Einzelfehler darf keinen Einfluss auf die Verfügbarkeit des Blockes haben.
- Verbesserung des Regelungskonzeptes im Hinblick auf einen geregelten Anlagenbetrieb aus kalt-unterkritischem Zustand bis Vollast .
- Integration eines Primärreglers und Vorbereitung des Einsatzes eines Netzreglers.
- Aufbau von Kannlast-Bedingungen mit automatischer Lastreduktion beim Ansprechen.

## Blockleistungsregelung KKI1



### Struktur mit 4 Regelbereichen:

- Sollwertführung der elektrischen Leistung
  - mit Primärregelung
  - mit Gradientenbildung für thermische und elektrische Leistung
  - mit Kannlastbegrenzung
  - mit WT-Gerät Einfluss
- Leistungsregelung über Steuerstäbe
  - mit Periodenregelung
  - mit Kühlmitteltemperatur-Gradientenregelung
  - mit Neutronenflussregelung (über WD oder LD)
  - mit Begrenzung über RDB-Füllstand / thermische Leistung
- Leistungsregelung über ZUP
  - mit Begrenzungsmaßnahme abfahren der ZUP (LAB)
- An- und Abfahrregelung Turbine

## **4. Anforderungen des Lastverteiler für den Lastfolgebetrieb und die Primärregelung**

### **4.1 Primärregelung:**

Seit dem Jahre 2002 wird im Kernkraftwerk Isar 1 dem Lastverteiler die Primärregelung angeboten.

Bei Anforderung durch den Lastverteiler wird im Teillastbereich (60 - 97,5 %) eine Primärregelleistung von max.  $\pm 2,5$  % der Nennleistung (+23MW<sub>el</sub>) zur Verfügung gestellt und zur Stützung der Netzfrequenz mit der Blockleistungsregelung durch Änderung der Verbandsdrehzahl ZUP abgerufen.

Voraussetzung für die Zuschaltung der Primärregelung ist ein konditionierter Kern und ein Leistungsvorhalt von ca. 2,5% für positive Lastsprünge.

### **4.2 Sekundärregelung:**

Die Sekundärregelung ist derzeit bei KKI1 noch nicht verwirklicht.

Randbedingungen sind:

- Automatischer Durchgriff des Netzreglers auf die Kraftwerksleistungserzeugung, ohne dass Handeingriffe erforderlich sind.
- Das Kraftwerk behält die Kontrolle über die Leistungsgrenzen und die Zeit der bereitgestellten Sekundärregelleistung.
- Die vom Kraftwerk angebotene Sekundärregelleistung muss binnen fünf Minuten erbracht werden können.
- Das Kraftwerk muss über die technische Möglichkeit verfügen, mindestens einen Leistungsgradienten von 2% der Nennleistung pro Minute zu fahren.

### **Zusammenfassung:**

- Die Anlage steht für Primärregelung zur Verfügung.
- Der Druck für einen möglichst flexiblen Lastfolgebetrieb wächst (Windenergie).
- Die Vorbereitungen für die Sekundärregelung laufen.
- Die technischen Voraussetzungen für den Lastfolgebetrieb werden 2003 geschaffen sein.