



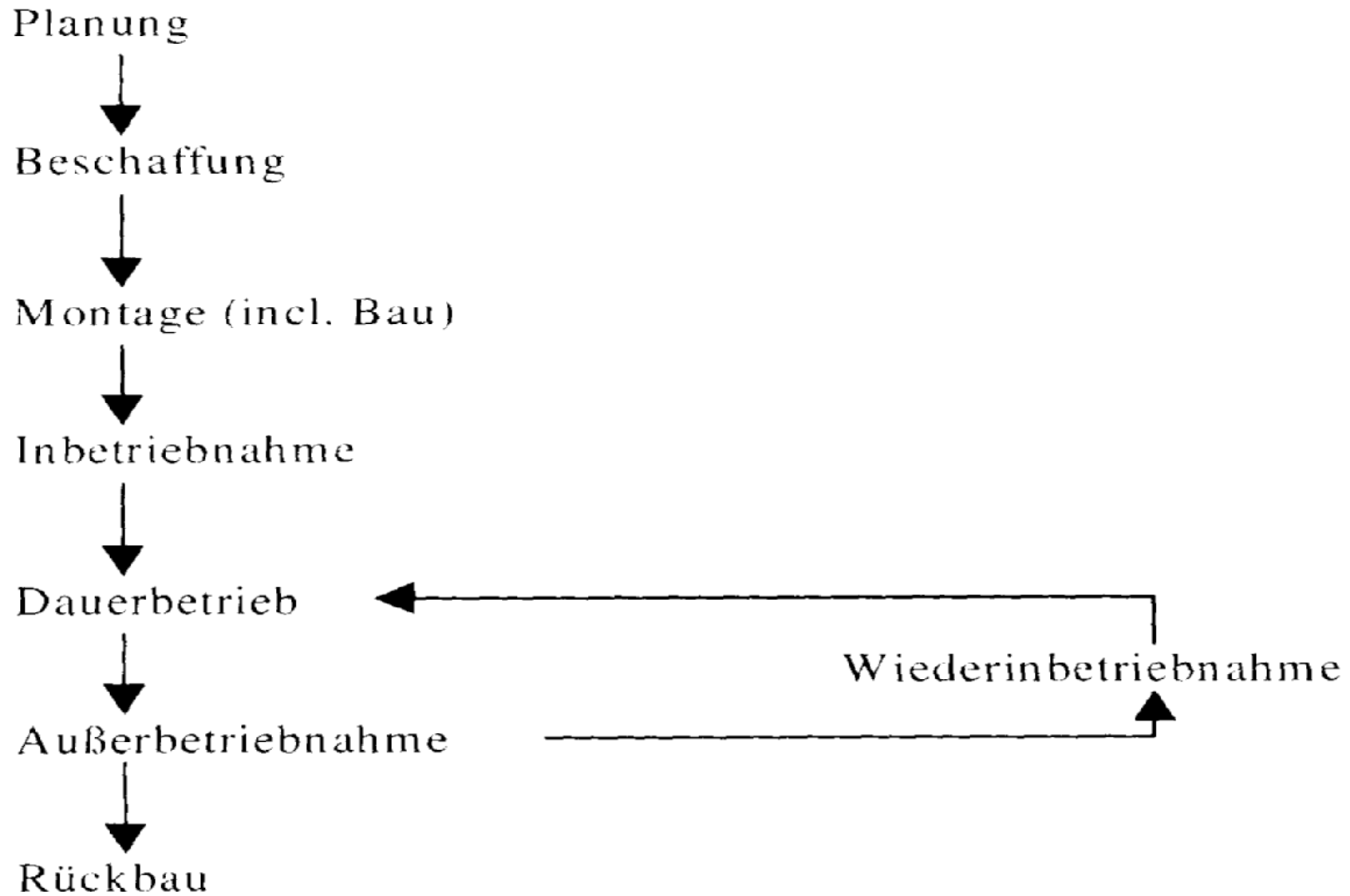
**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Energietechnik, Professur Verbrennung, Wärme- und Stoffübertragung

Energietechnik

Einige Betriebsaspekte von Energieanlagen

- Inbetriebnahme von Kraftwerken -



Besonderheiten Inbetriebnahme

- Unwägbarkeit,**
- Hohes Ausfallrisiko**
- Relative Einmaligkeit der Handlungen,**
- Hoher Organisationsaufwand,**
- Hohe Dynamik der Handlungsabläufe,**
- Notwendigkeit von Echtzeitmaßnahmen,**
- Fahrweise außerhalb des normalen Betriebspunktes,**
- Erhöhte Belastung des Personals.**

Inbetriebnahme

Die Bereitschaft zur Inbetriebnahme liegt vor, sobald sämtliche zum Betrieb erforderlichen Anlagenkomponenten montiert, betriebsbereit und einem sicherheitstechnisch einwandfreien Zustand sind und sämtliche Prüfungen bestanden wurden. 🙌

Schritte der Inbetriebnahme

- 1. Mechanische Fertigstellung**
- 2. Druckprobe**
- 3. Dichtheitsprüfung der Rauchgaszüge**
- 3. Innere Reinigung**
- 4. Trocknung des Mauerwerks**
- 5. Heiße Inbetriebnahme**
- 6. Übernahme und Gefahrenübergang**
- 7. Erfüllung der Lieferung**

Druckprobe

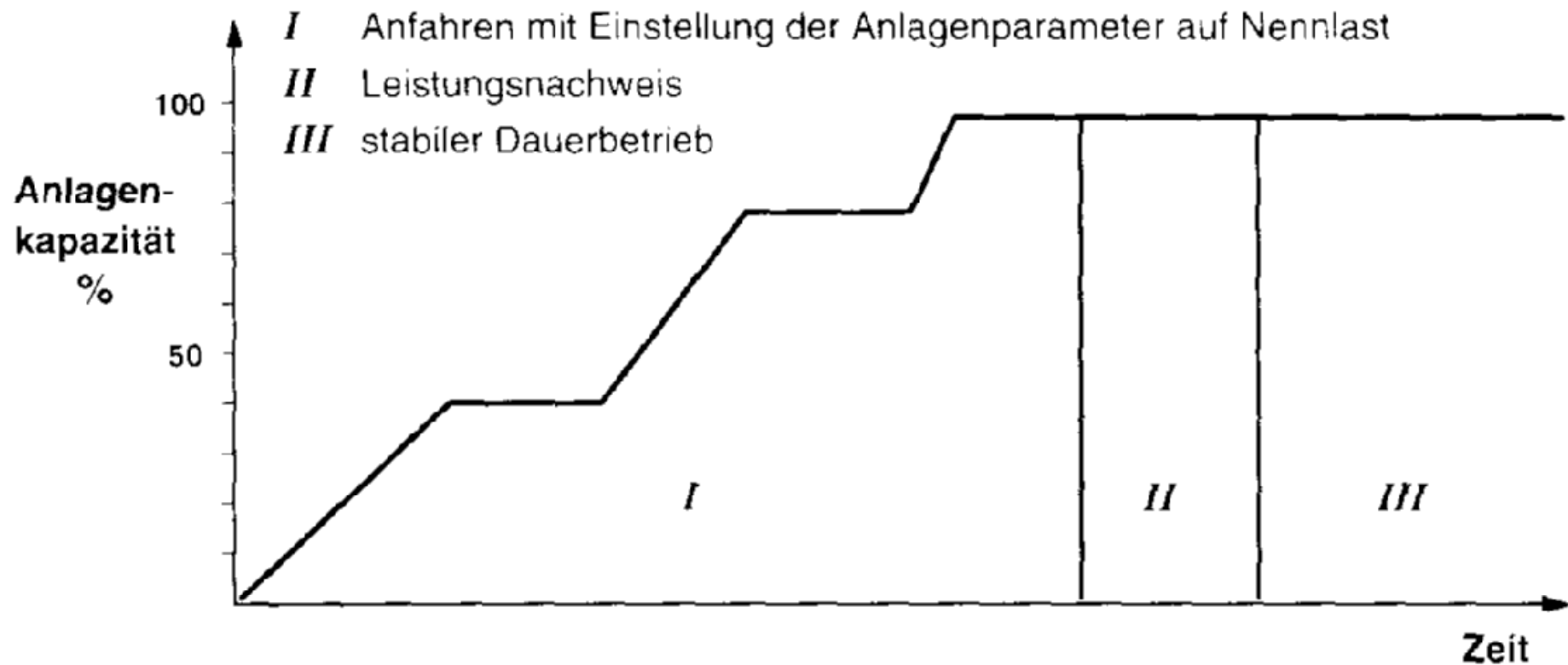
- **nach Montageende am Druckkörper**
- **meist mit Spezialpumpe**
- **Nachweis der Druckfestigkeit auf Prüfdruck**
- **Voraussetzung für Betrieb**

Dichtheitsprüfung der Rauchgaszüge

- **alle Öffnungen betriebsmäßig geschlossen**
- **Nebelprobe durch Einnebeln mit Rauchpatronen oder Nebelgerät (nur im warmen Zustand)**
- **Undichtheit durch austretenden Nebel sichtbar**
- **Nebelprobe nachteilig bei Überdruckkesseln und großen Lecks (Einnebeln des Kesselhauses)**
- **Alternative: Absprühen mit schaumbildenden Flüssigkeiten**

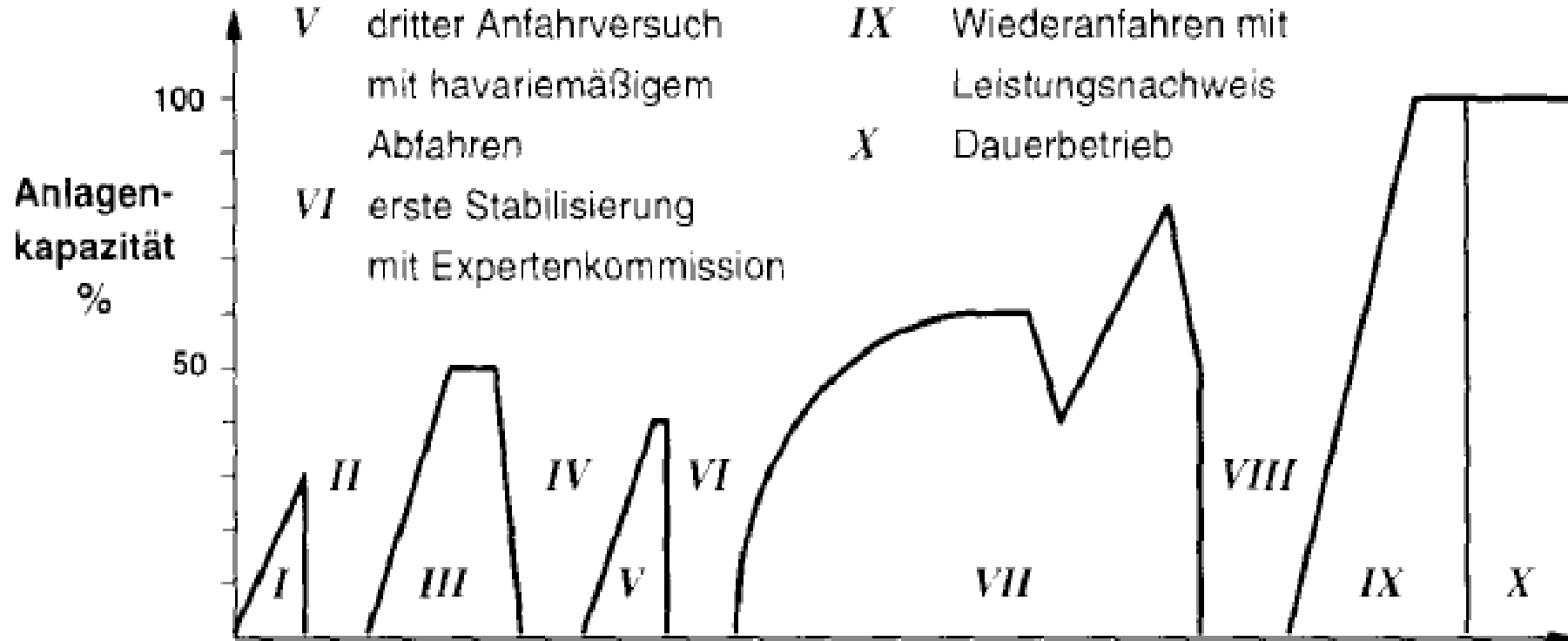


Ablauf einer Inbetriebnahme (ideal)



Ablauf einer Inbetriebnahme (real)

- I* erster Anfahrversuch
- II* Nachbesserung
- III* zweiter Anfahrversuch
- IV* zweite Nachbesserung
- V* dritter Anfahrversuch mit havariemäßigem Abfahren
- VI* erste Stabilisierung mit Expertenkommission
- VII* Anfahren unter Hinzuziehung von Experten
- VIII* zweite und endgültige Stabilisierung
- IX* Wiederanfahren mit Leistungsnachweis
- X* Dauerbetrieb



Probetrieb ...

.... hat den Zweck, den Nachweis der Betriebstüchtigkeit der Anlage zu erbringen. Er muss deshalb durchlaufend und ohne Störungen an wesentlichen Teilen des Liefer- und Leistungsumfangs durchgeführt werden.

Seine Dauer ist in Abhängigkeit von der Anlagengröße individuell im Vertragswerk festzuhalten. Sie liegt in der Regel zwischen 2 und 4 Wochen.

Probetrieb:

- 2 bis 4 Wochen (bis 6 Wochen bei kompletten Blöcken)**
- mit Personal des Bestellers**
- unter Leitung und Verantwortung des Lieferers**
- Abstimmung über tägl. Betriebszeit, Fahrweise
Belastung**
- anschließend Mängelbeseitigung**

Nach einem befriedigenden Abschluss des
Probetriebs schließt sich die
vorläufige Betriebsübernahme und
der Beginn der Gewährleistungszeit
an.



Nach der vorläufigen Betriebsübernahme führt der Auftragnehmer zu einem einvernehmlich festzulegenden Zeitpunkt die

Abnahmeversuche

durch und weist dem Auftraggeber die Einhaltung der vertraglichen Garantiewerte als Vertragserfüllung nach.

**Die Abnahmeversuche sollen nachweisen,
dass die Gewährleistungen für
Wirkungsgrad und Leistung oder andere
technische Bedingungen erfüllt sind.
Synonym: Garantiever such**

Mit der
endgültigen Betriebsübernahme
und der
Erfüllung der Lieferung
ist die Inbetriebnahme abgeschlossen

- Anfahren eines Dampferzeugers -

Anfahren von Kraftwerken

Je nach Temperatur eines Kraftwerkes zu Beginn eines Anfahrvorganges wird unterschieden:

- Kaltstart (z. B. nach Revisionsstillstand)**
- Warmstart (z. B. nach einem Wochenendstillstand)**
- Heißstart (z. B. täglicher Anfahrvorgang)**

Anfahrverhalten eines Kohlekraftwerkes

Startart	Anfahrzeiten
Kaltstart nach < 72 h Stillstand	400 min
Warmstart nach < 48 h Stillstand	280 min
Heißstart nach < 8 h Stillstand	115 min



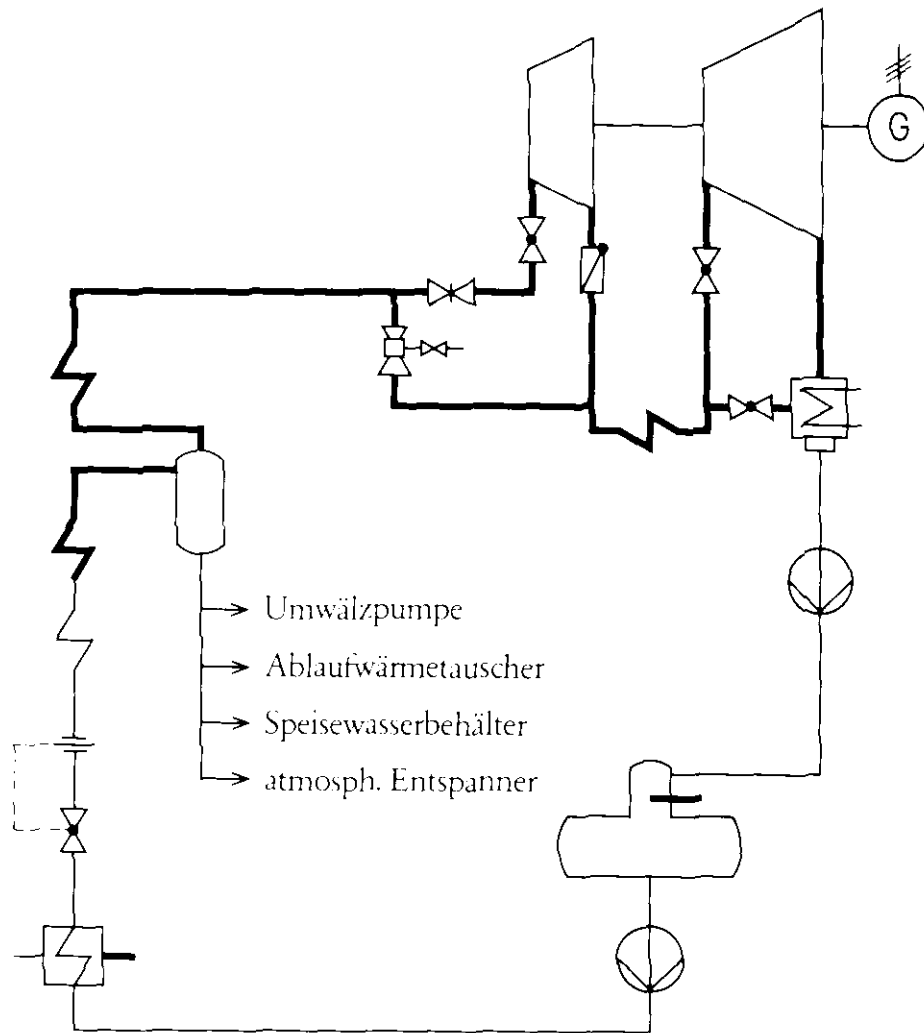
Anfahren von Kraftwerken

Kaltstartdauer

Kraftwerkstyp	Leistung (MW)	Kaltstartdauer (h)
Kernkraft	750-1250	24
Braunkohle	500-1000	9-15
Steinkohle	500-750	6-8
Gas-Öl	250-400	2-3
Gas (GuD)	200-500	1

Gestaltungsprinzipien für den Anfahrvorgang

- **niedrige Anfahrverluste**
- **kurze Anfahrzeiten**
- **Einhalten zulässiger Temperaturgradienten und Maximaltemperaturen**
- **prinzipiell gleicher Ablauf bei Kalt-, Warm- und Heißstart**
- **übersichtliche und damit bedienfreundliche und automatisierungsfreundliche Funktionsabläufe**



Durchlaufkessel

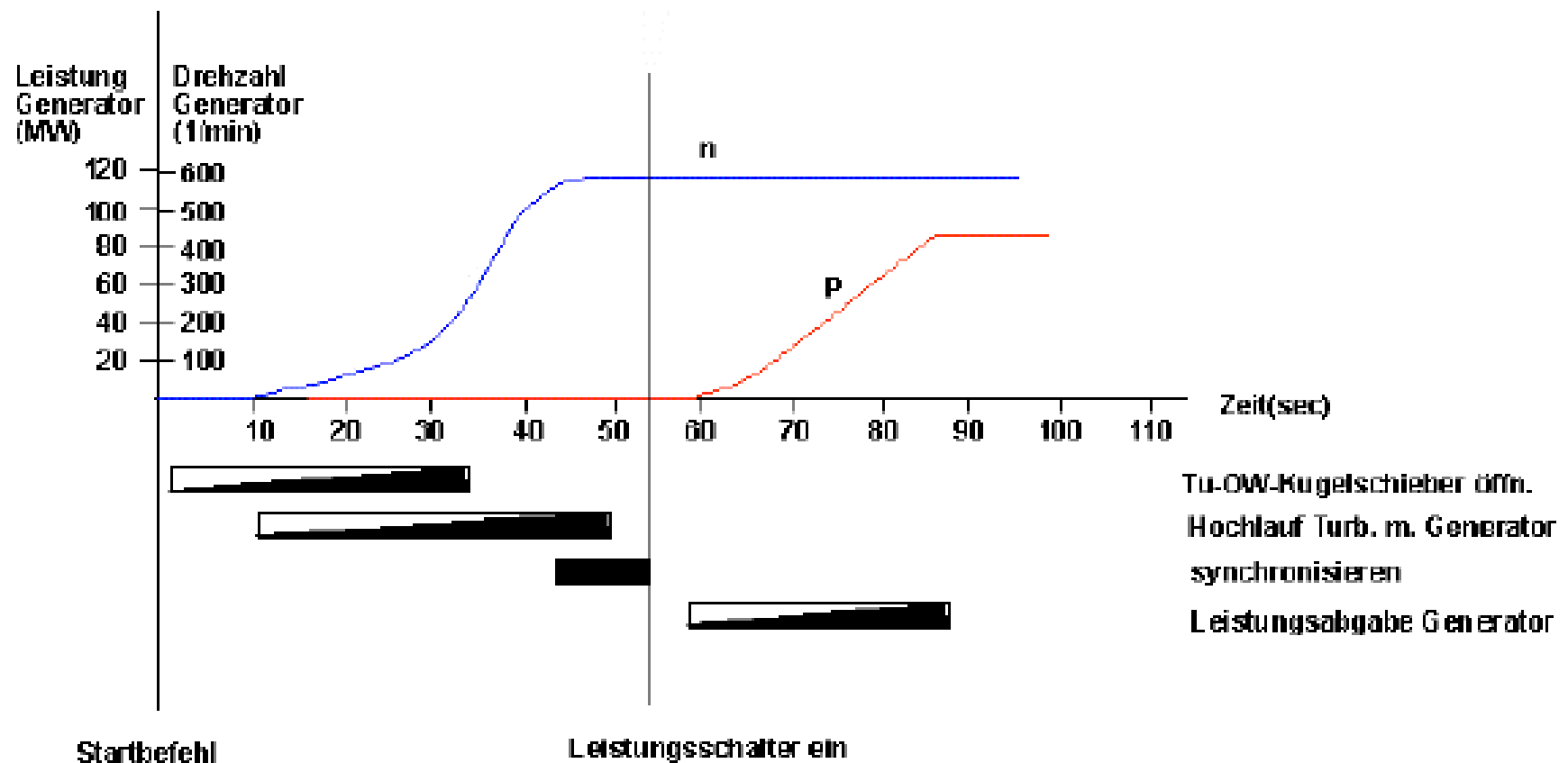
spezielle Anfahrschaltungen

Verdampferheizflächen sind wassergekühlt

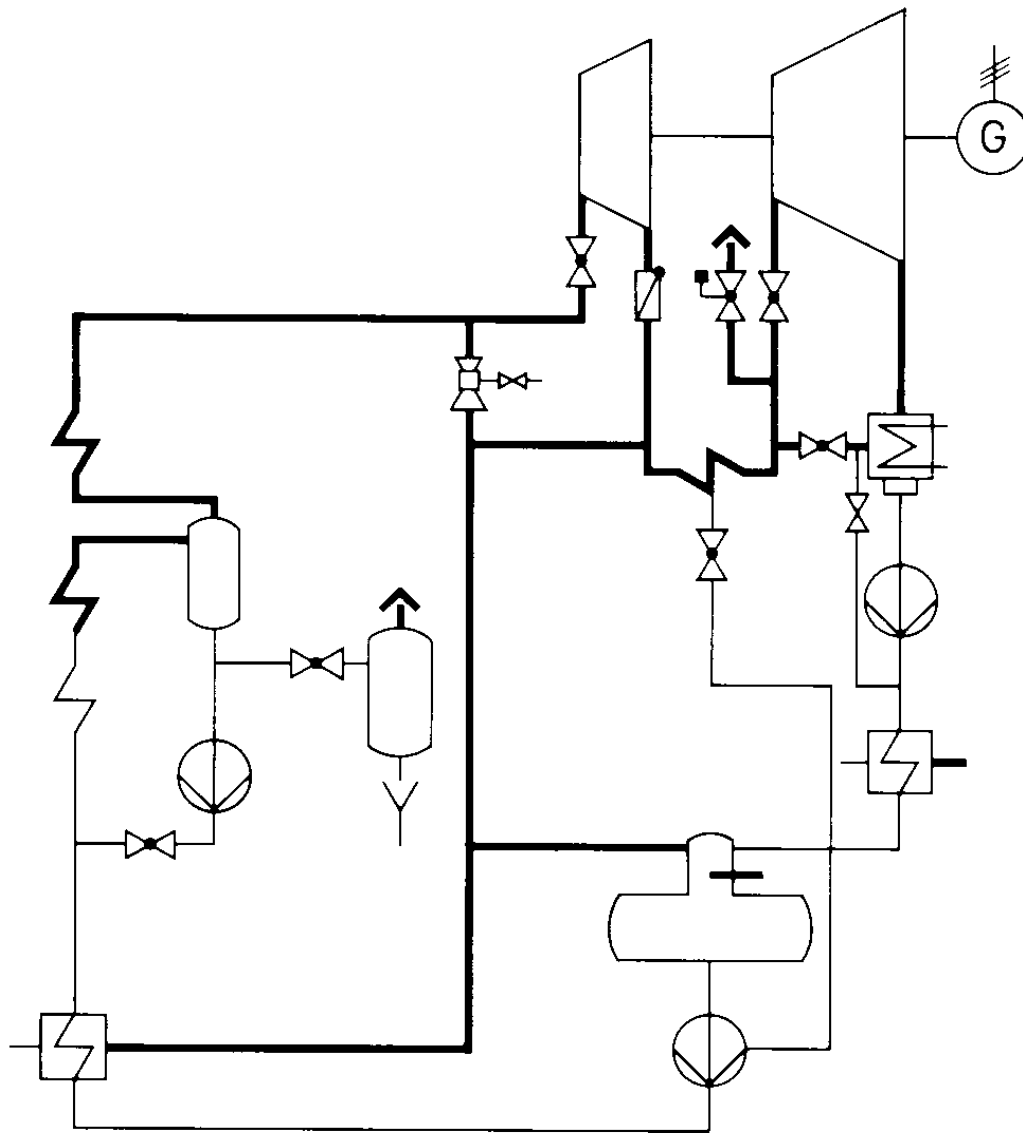
der erforderliche Verdampfer-
mindestdurchsatz wird
mittels der Speisewasser-
pumpe oder einer speziellen
Umwälzpumpe durch den
Verdampfer gefördert

Überhitzerheizflächen sind
meist dampfgekühlt

Anfahrvorgang einer Turbine im Kraftwerk Säckingen



- Blockanfahrssysteme -



Turbinenbypass

in der BRD entwickelt

besonders gut für
Durchlaufdamperzeuger,
aber auch für Trommel-
kessel geeignet

Hoch-, Mittel- und Nieder-
druckteil der Turbine
erhalten Bypassleitungen

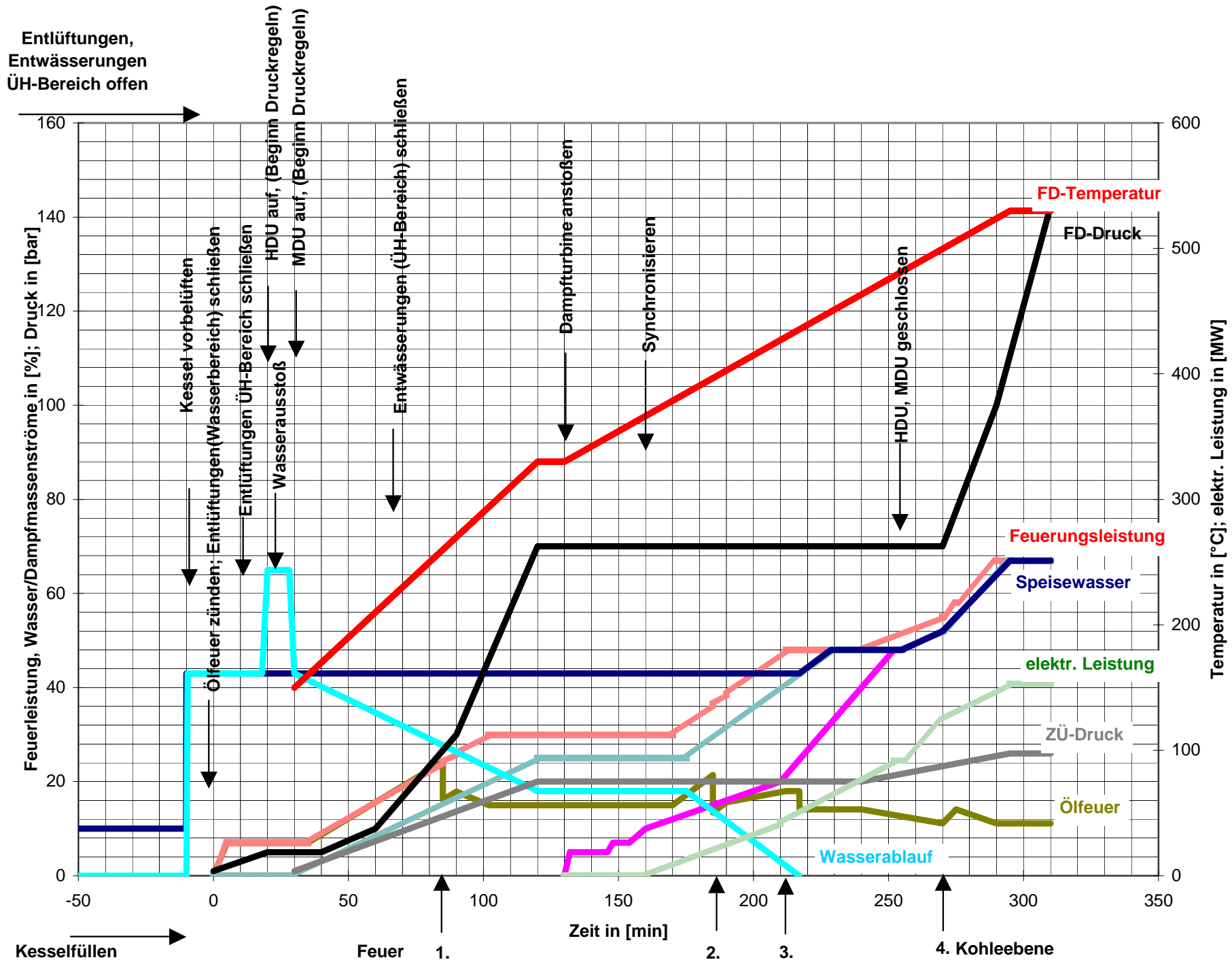
Dampf wird an der Turbine
vorbei, jedoch durch den
Zwischenüberhitzer in den
Kondensator geleitet

Vorteile Turbinenbypass:

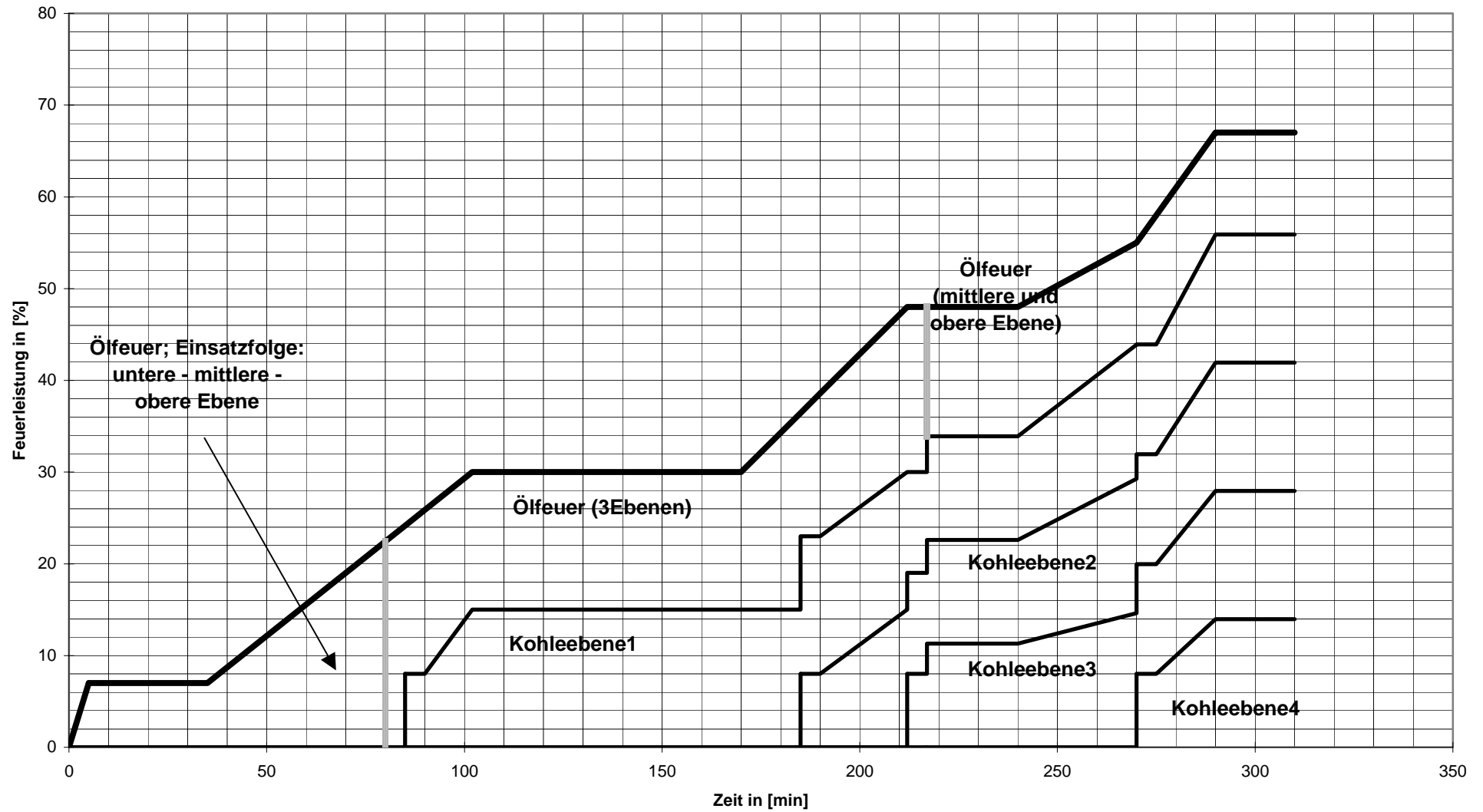
- **Dampferzeuger kann unabhängig von der Turbine angefahren und in Störfällen betrieben werden**
- **alle Überhitzer- und Zwischenüberhitzerheizflächen werden mit Beginn der Dampferzeugung gut gekühlt**
- **keine Temperaturschocks**
- **keine Turbinenverschmutzung bei schlechter Dampfqualität**
- **kurze Anfahrzeit**
- **übersichtlicher Anfahrvorgang, gleicher Ablauf für Kalt-, Warm- und Heißstart (Automatisierung)**
- **bei turbinenseitigen Störungen (Lastabwurf) kann Dampferzeugerleistung gehalten werden, damit schnelle Wiederinbetriebnahme**

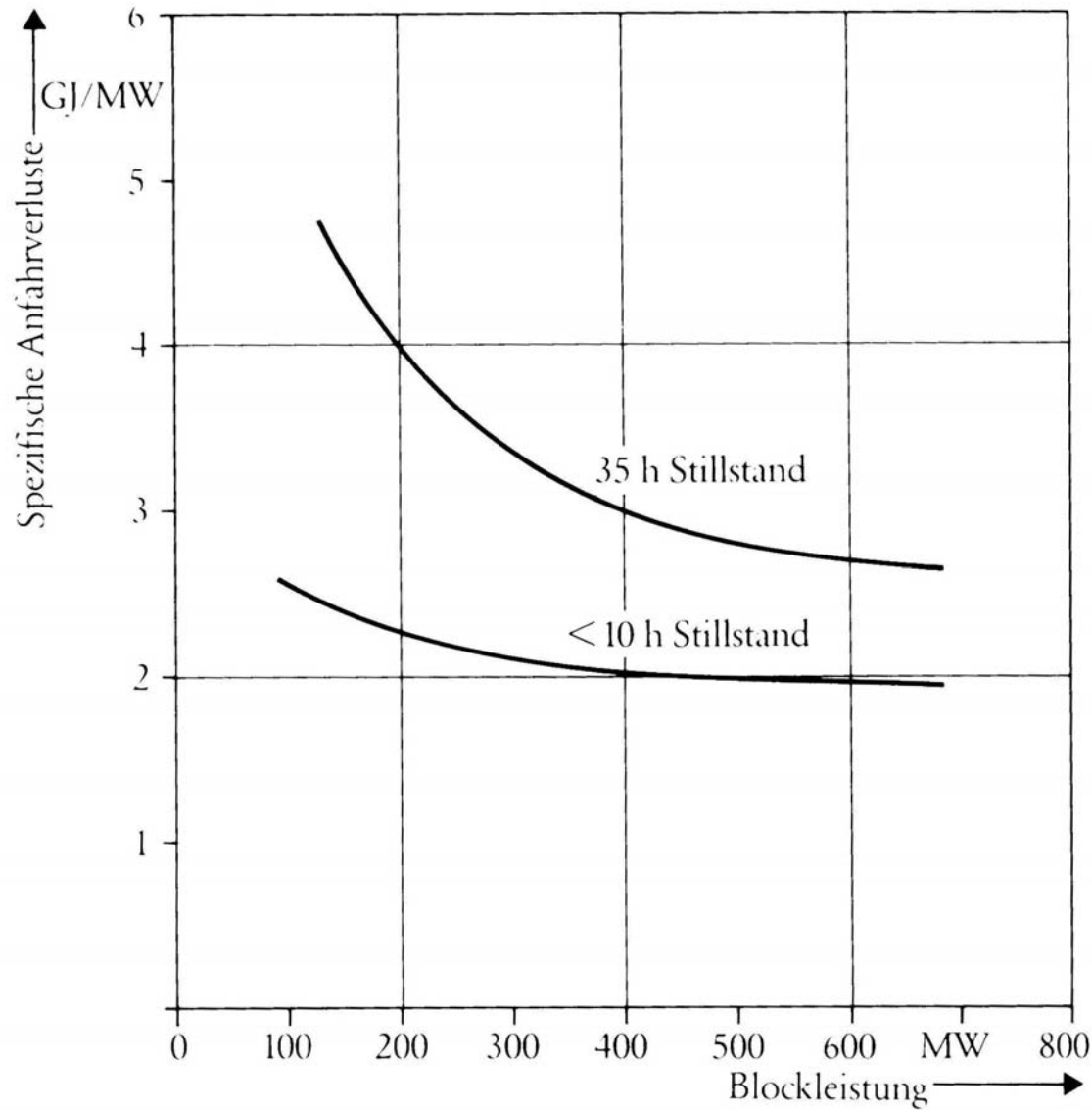
Nachteil Turbinenbypass:

- **etwas erhöhte Investkosten**



Kaltstart; Brennereinsatzfolge

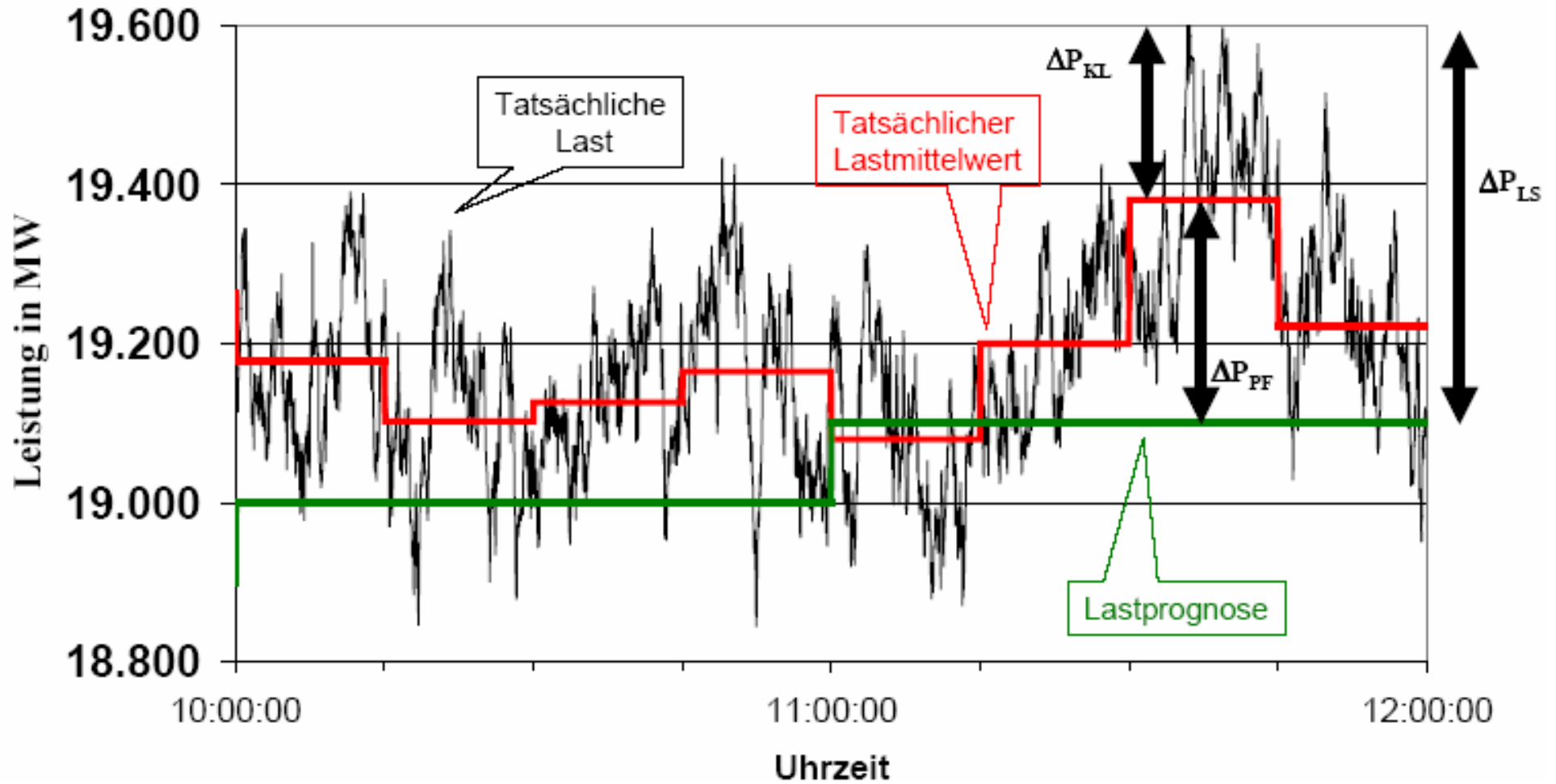




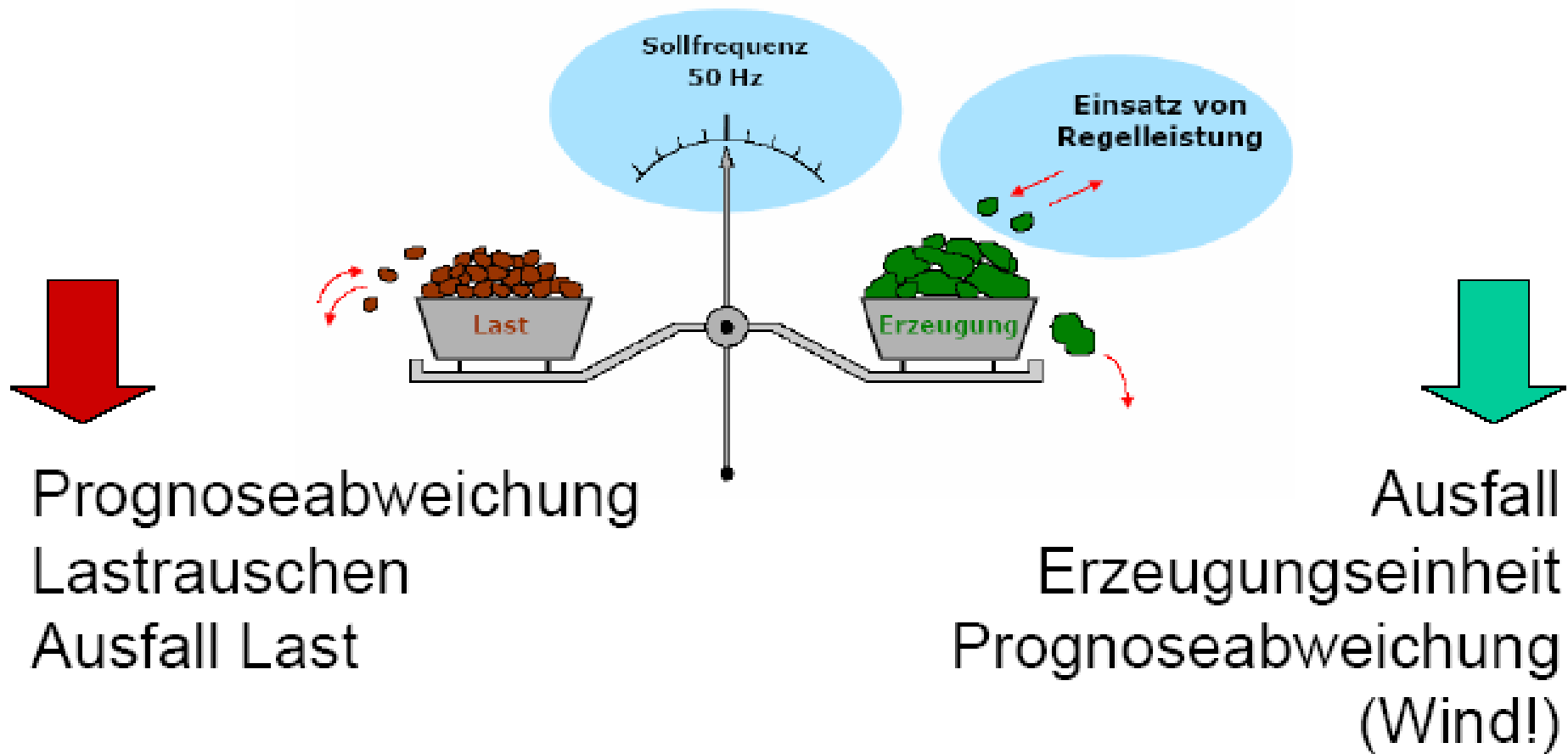
Anfahr-
verluste in
Abhängigkeit
der
Blockleistung

- Kraftwerksregelung / Laständerung -

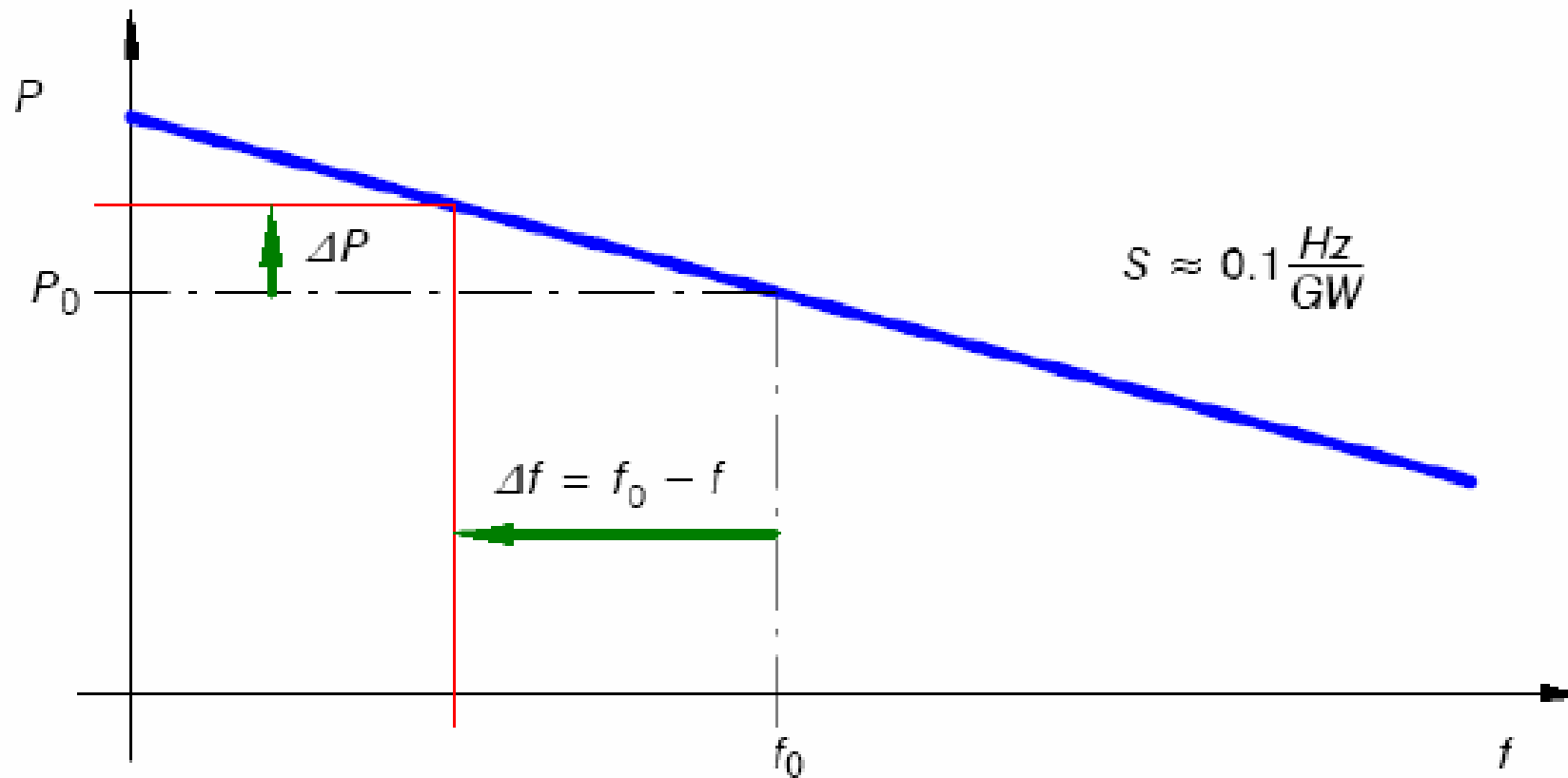
Lastprognose und tatsächliche Last

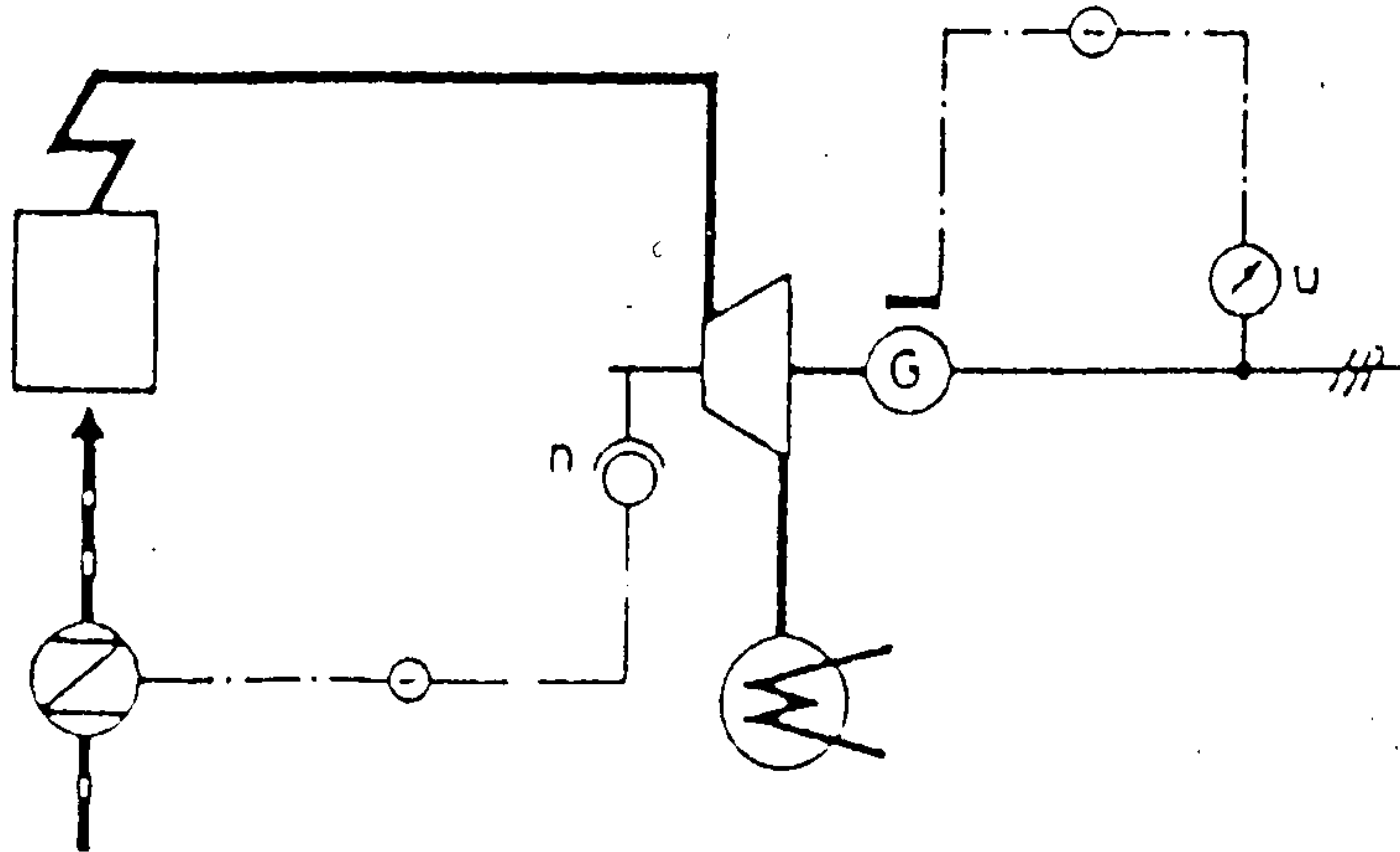


Ursachen für die Störung des Leistungsgleichgewichts



Abhängigkeit der Leistung (P) von der Frequenz (f)





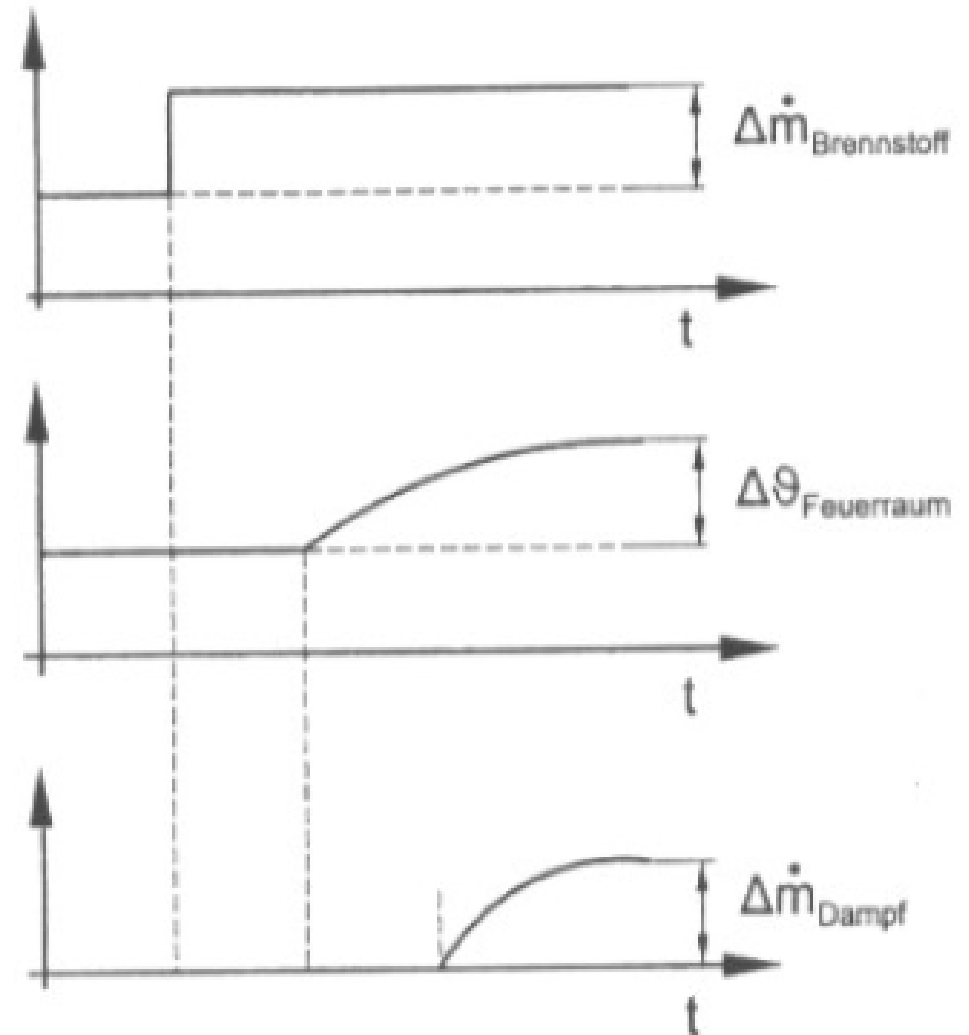
Grundregelaufgaben eines im Inselbetrieb fahrenden Kondensationskraftwerks

Problem:

Zeitverhalten eines Dampferzeugers und eines gesamten Blockes

Zeitverhalten

Eine sprunghafte
Änderung der
Brennstoffzufuhr wirkt
sich auf die
Feuerraumtemperatur
und den Dampfstrom
erst mit einer
Zeitverzögerung aus.



Lösung:

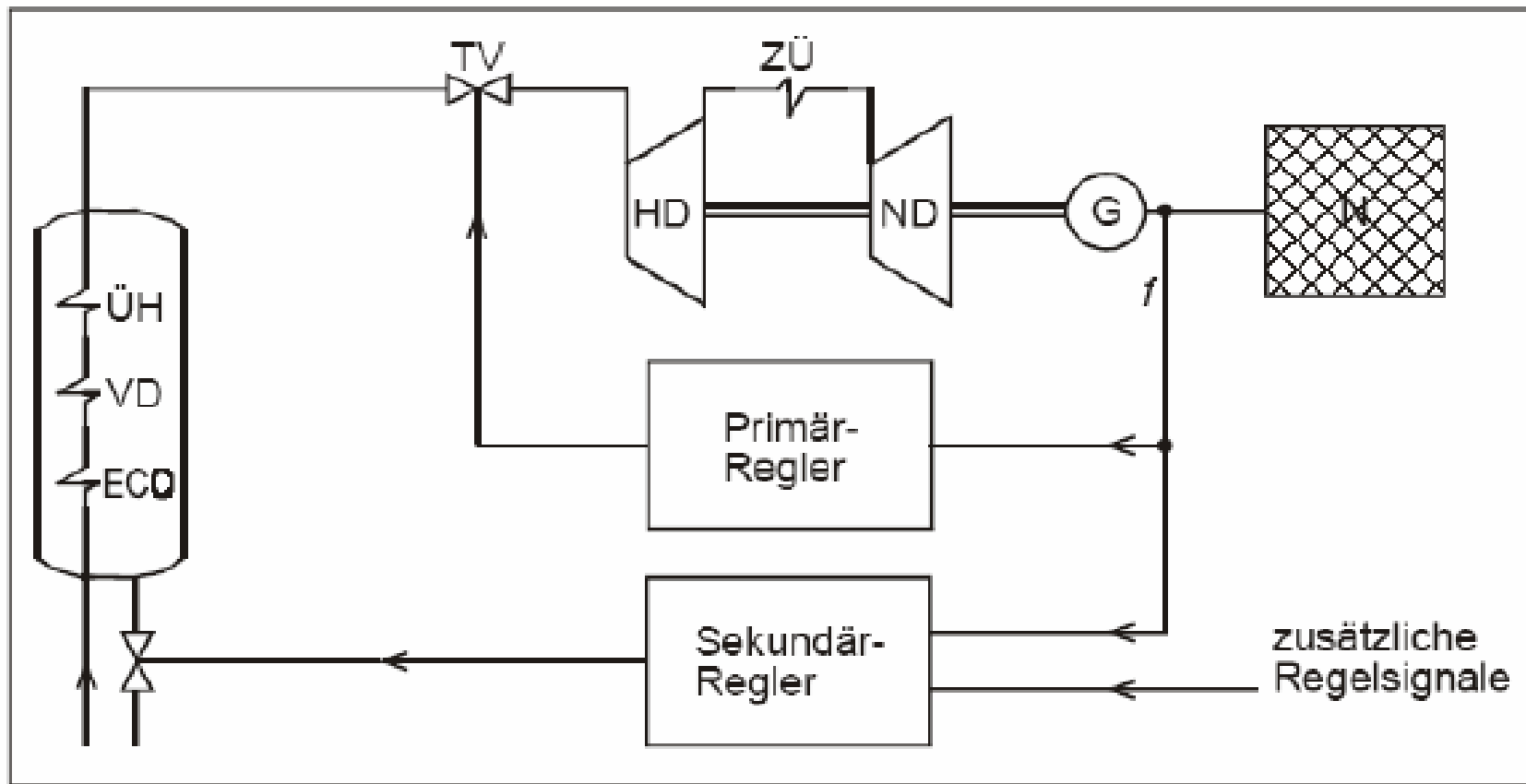
**Auftrennung der Regelaufgabe auf
einen Primärregelkreis (schnell) und
einen Sekundärregelkreis
(verlustarm)**

Primärregelung (Sekundenbereich):
Frequenzstabilisierung, Drehzahländerung
proportional zur Frequenzabweichung,
Wiederherstellung des Leistungsgleichgewichtes

Sekundärregelung (Minutenbereich):
Rückführung von Frequenz und Übergabeleistung
auf die Sollwerte

Tertiärregelung (längerfristig):
Berücksichtigung vorhersehbarer Leistungs-
änderungen (Prognosen), wirtschaftliche
Optimierung

Prinzipschema der Turbinenregelung eines Wärmekraftwerkes



Im Netz sind möglichst viele Kraftwerke an der **Primärregelung** beteiligt (sog. Regelkraftwerke), um Laständerungen wirksam entgegen zu steuern. Voraussetzung dafür, dass genügend schnell Primärleistung freigesetzt werden kann, ist bei Wärmekraftwerken eine Fahrweise mit angedrosselten Turbinenventilen, so dass durch Öffnung der Ventile im Kessel gespeicherte Dampfenergie freigesetzt werden kann.

→ Festdruckbetrieb

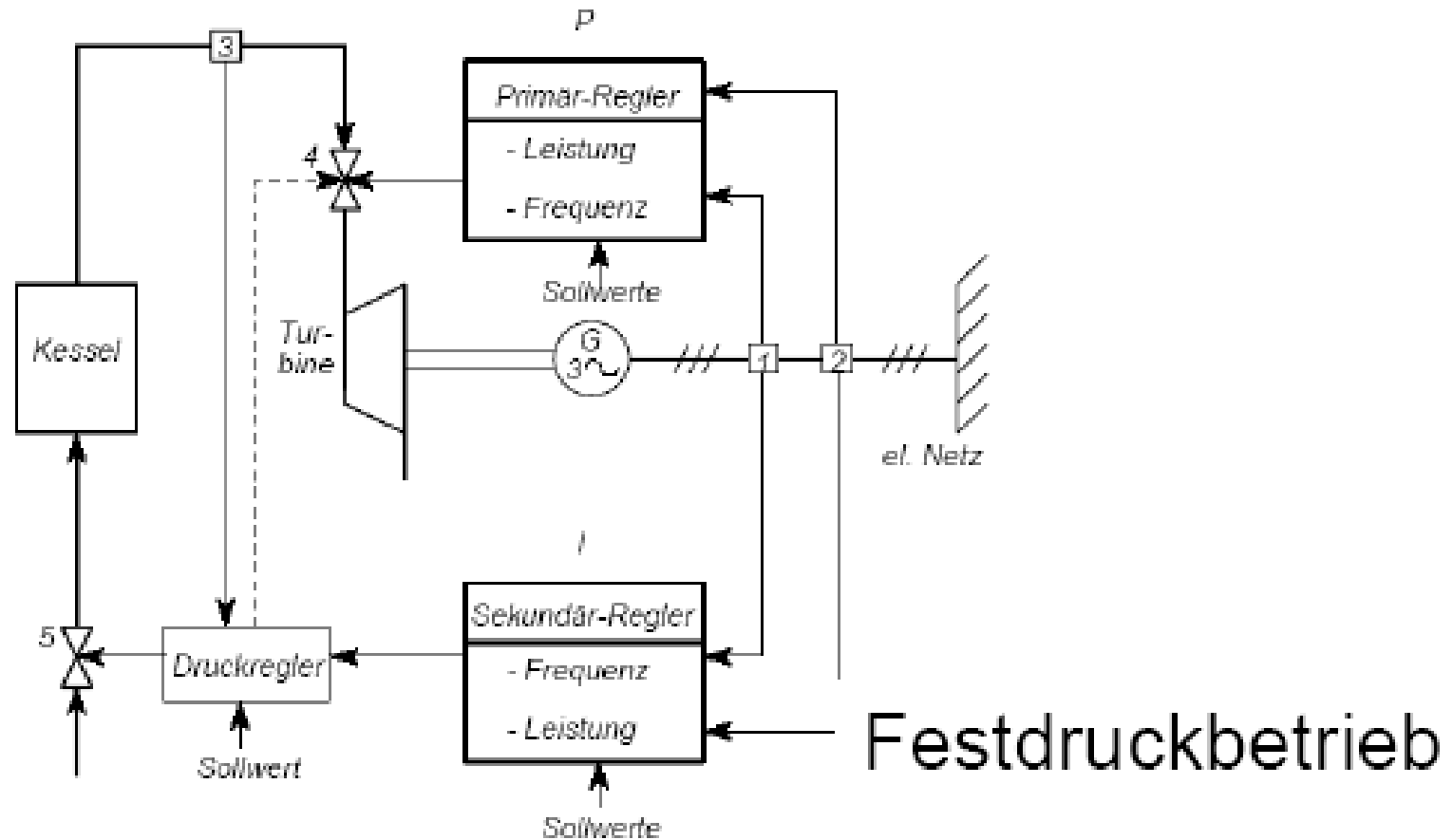
→ **Gleitdruckbetrieb**

.... hier sind die Ventile stets ganz geöffnet.

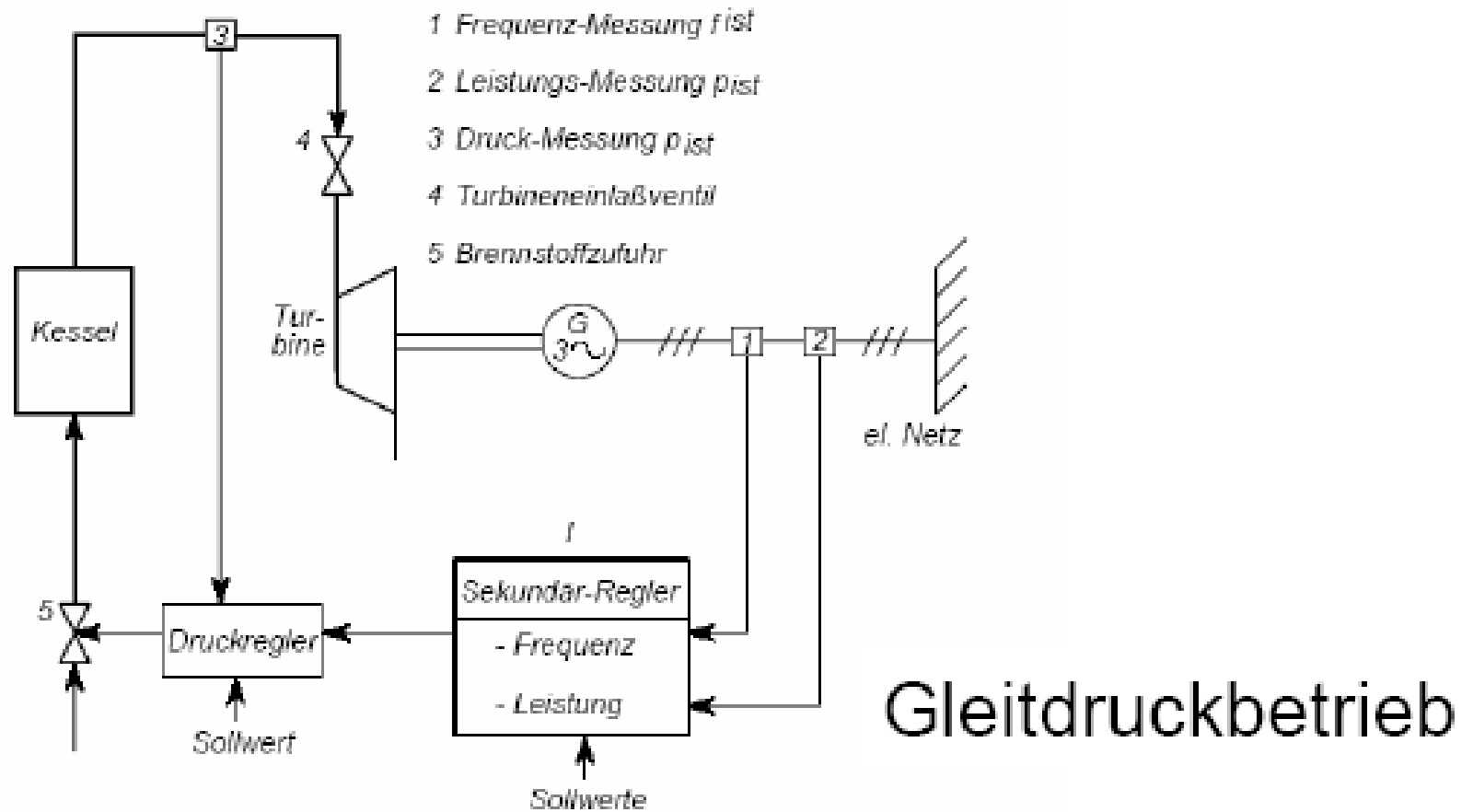
Kraftwerke, die im ***Gleitdruckbetrieb*** gefahren werden, können keinen wesentlichen Beitrag zur Primärregelung leisten. Gleitdruckbetrieb ist aber wirtschaftlicher als der ***Festdruckbetrieb***.

Durch die Androsselung der Turbinenventile wird beim Festdruckbetrieb zum einen die verfügbare Kraftwerksleistung nicht ständig voll ausgenutzt, zum anderen ist der Wirkungsgrad des Dampfkreislaufes im Teillastbetrieb nicht optimal. Grundlastkraftwerke werden deshalb im Gleitdruckbetrieb gefahren.

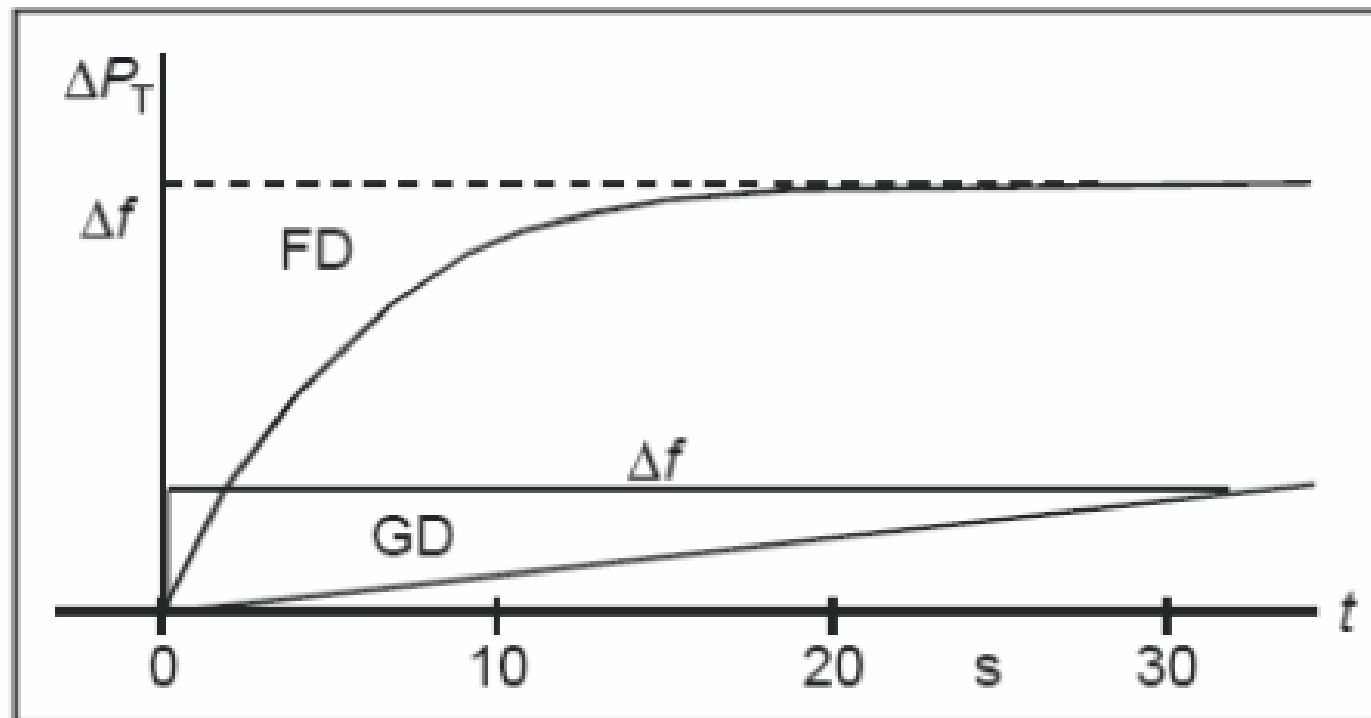
Wirkleistungsregelung thermischer Kraftwerke

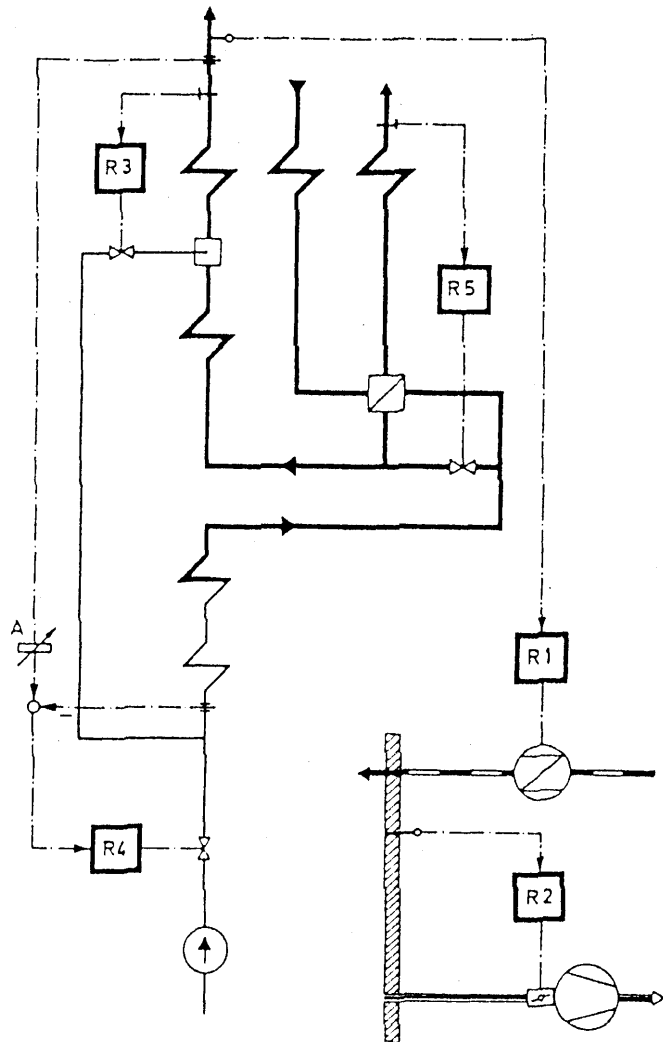


Wirkleistungsregelung thermischer Kraftwerke



Übergangsfunktionen der Turbinenleistung für einen Festdruck (FD)- und einen Gleitdruck(GD)-Block





Hauptregelkreise eines Bensonkessels

Regelkreise im Dampferzeuger

R1 ... Frischdampfdruckregler

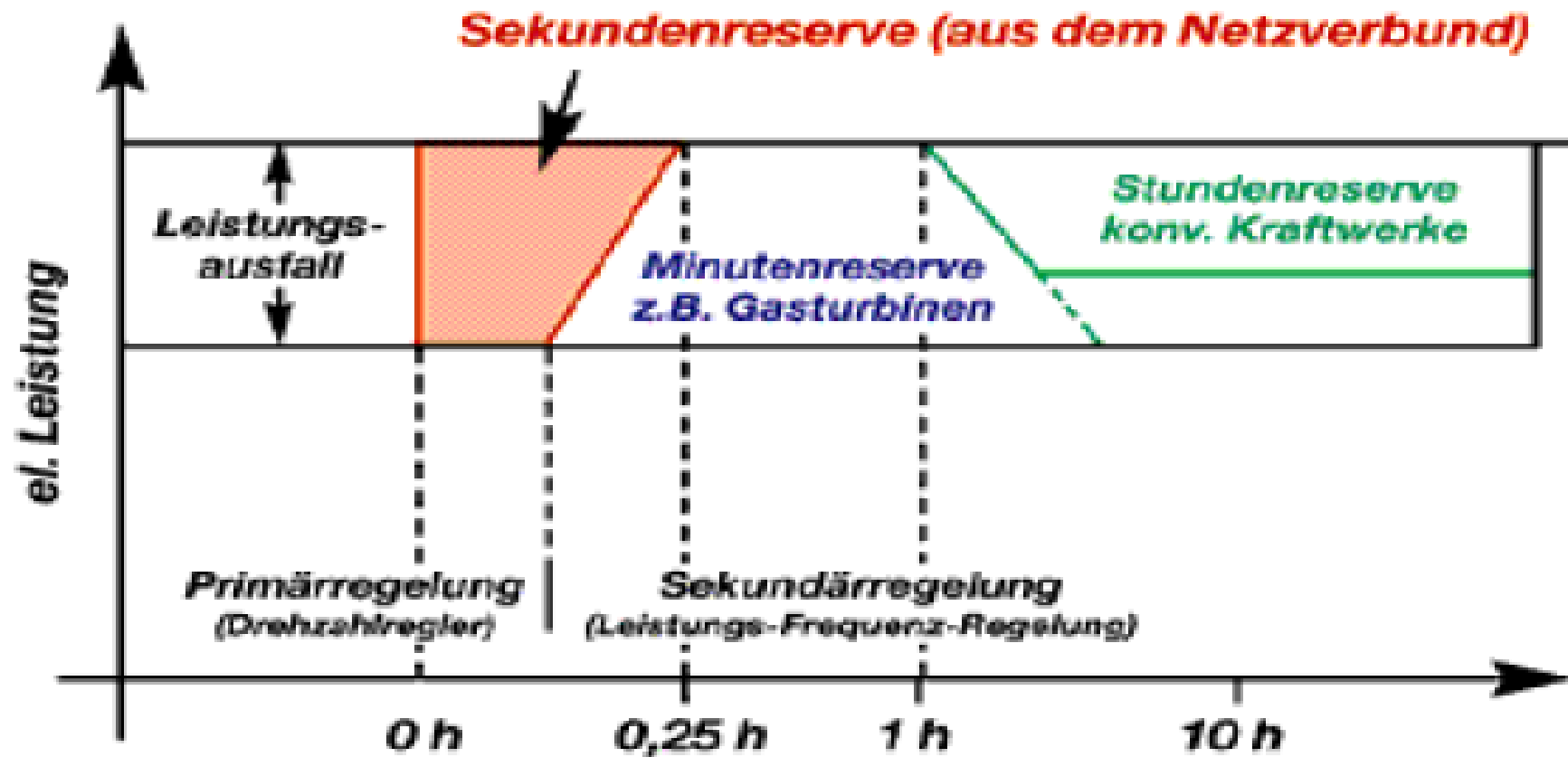
R2 ... Feuerraumdruckregler

R3 ... Frischdampfdrucktemperaturregler

R4 ... Durchflussregler für den Speisewasserstrom (A ... Anteilinsteller für das Einspritzwasser/Speisewasser verhältnis)

R5 ... Zwischendampfdrucktemperaturregelung (über Wärmetauscher mit Bypass)

Phasen des Reserveeinsatzes nach einem Kraftwerksausfall



Momentanreserve (Sekundenreserve):
rotierende Reserve von 5 % der Gesamtbelastung
aus dem Netzverbund.

Minutenreserve:
Mobilisierung der schnellen Reserve. Das sind
Kraftwerke, die innerhalb von 10 bis 15 min mit
Lastübernahme am Netz sind.

Stundenreserve (Langzeitreserve):
wird bei längerem Ausfall angefahren. Langsam
startende Kraftwerke (0,5 bis 8 h)

Für den deutschen Teil des europäischen Verbundnetzes gilt folgende Regelung

Frequenz [Hz]	Maßnahme
50,25	Automatisches Abschalten von Kraftwerken durch Drehzahlüberwachung (Überdrehzahl)
49,8	Automatische Warnung der Netzbetreiber, Einsatz aller verfügbaren Ressourcen
49,4	Abschaltung ausgewählter Verbraucher (Unterfrequenzrelais = frequenzabhängiger Lastabwurf)
48,4	Notversorgung der Eigenbedarfsanlagen (Kühlung etc.), damit Störungen des Netzes nicht den Eigenbedarf außer Kraft setzen
47,6	Auftrennen des Verbundnetzes in Inselnetze