

Lastregelung mit der Rundsteuerung

1. Die Leistungsspitze unter Kontrolle

Kosten zu senken ist eine dauernde Herausforderung für alle Energieversorgungsunternehmen (EVU). Einen gewichtigen Teil der Aufwendungen für die Energie bilden die Leistungskosten. Bereits die Reduzierung der maximal bezogenen Leistung (Leistungsspitze) um wenige Prozente führt zu grossen Einsparungen. Die Lastregelung mittels Rundsteuerung zur Spitzenreduktion lässt sich somit innert weniger Jahre amortisieren.

2. Den Netzausbau unter Kontrolle

Der Ausbau des Verteilnetzes ist eine Daueraufgabe. Er verursacht Investitionen, die verzinst und amortisiert werden müssen. Wenn der Verbrauch optimal über den Tag verteilt werden kann, ist es möglich, Verstärkungen des Verteilnetzes auf einen späteren Zeitpunkt zu verschieben. Dank einer Lastregelung kann dieses Ziel erreicht und Amortisations- und Zinskosten eingespart werden.

3. Optimale Regelung

Für ein EVU wäre es ideal, wenn der Verbrauch an elektrischer Energie während 24 Stunden pro Tag konstant sein würde. Dies ist aber nie der Fall. Versorgt das EVU ländliche oder städtische Wohngebiete, Industrie, Gewerbe oder die Landwirtschaft, so ergeben sich Lastspitzen in der Nacht, am Vormittag oder am Vorabend. Fast alle Verteilnetze haben eine Spitze kurz vor Mittag.

Zur Beeinflussung der Netzlast werden drei Verfahren verwendet:

- Lasten nur einschalten, wenn es die gesamte Netzlast erlaubt. Beispiele hierzu sind Boiler und Speicherheizungen.
- Lasten während hoher Netzlast sperren. Beispiele hierzu sind Wärmepumpen, Klimaanlage, Grundwasserpumpen und Waschmaschinen.
- Einschalten von Energieerzeugungsgruppen wie eigene Kraftwerke und Notstromgruppen.

Eine weitere Anwendung der Lastregelung ist das sogenannte „virtuelle Kraftwerk“. In diesem Fall senkt ein EVU seine Netzlast um damit den Kraftwerksbetreibern in einem Störfall auszuweichen oder ein Partner-EVU zu unterstützen, das momentan eine Lastspitze hat.

Der Lastregler muss den vorgegebenen Leistungs-Sollwert (Target) einhalten und dabei Boiler, Speicherheizungen, Wärmepumpen, Klimaanlage und andere Lastgruppen so schalten, dass die Kunden des EVU möglichst wenig davon merken. Die vertraglich festgelegten Freigabe- und Sperrzeiten sind einzuhalten. Der Targetwert muss flexibel (Zeit-, Ereignisabhängig und auch von Ferne) gesteuert werden können, damit die unterschiedlichsten Tarifstrukturen abgebildet werden können.

4. Die Regelobjekte

In einer Rundsteueranlage werden Lasten mit gleichen physikalischen Eigenschaften zu einem Regelobjekt zusammengefasst. Beispielsweise werden so viele 6-Stunden-Boiler mit dem gleichen Rundsteuerbefehl versehen, bis die installierte Leistung dieser Boiler etwa 1 bis 3 % des Targetwertes beträgt.

Regelobjekte haben unterschiedliche Eigenschaften, die dem Lastregler bekannt sein müssen. Am Beispiel eines Boilers sei dies hier erläutert:

- Boiler dürfen nur während der Niedertarifperiode aufgeladen werden. Eventuell ist die Ladezeit in zwei Zeitperioden aufgeteilt: 20:00 bis 06:00 Uhr und 14:00 bis 16:00 Uhr.
- Zu Beginn der Niedertarifperiode sind alle Boiler-Thermostaten auf EIN gestellt, weil das Boilerwasser kalt ist. Wird das Boiler-Regelobjekt eingeschaltet, so wird die installierte Leistung aller Boiler dieses Regelobjektes eingeschaltet. Während der Ladedauer erreichen immer mehr Boiler die Endtemperatur und der im Boiler eingebaute Thermostat schaltet den Boiler aus. Schaltet der Lastregler das Boiler-Regelobjekt aus, so wird nicht mehr die installierte Leistung aller Boiler ausgeschaltet, sondern nur diejenigen Boiler, die noch nicht ihre Endtemperatur erreicht haben. Wenn der Lastregler später das Regelobjekt wieder einschaltet, so hängt die Schaltleistung von der bereits ausgeführten Ladedauer und der Dauer des Ladeunterbruchs ab.
- Es wird nicht immer gleich viel heisses Wasser verbraucht. Oft ist der Verbrauch im Winter und an Wochenenden grösser als im Sommer. Extrem ist dies bei einem Speicherheizungs-Regelobjekt. Speicherheizungen werden im Sommer nicht benötigt und in Ferienwohnungen oft nur an den Wochenenden im Winter.
- Der Wasserverbrauch kann durch die Lebensgewohnheiten, den meteorologischen Bedingungen und auch durch das Fernsehprogramm beeinflusst werden.
- Natürlich erwartet jeder Kunde des EVU, dass der Boiler am Morgen voll geladen ist.

Ausser Boilern, die in der Niedertarifzeit aufgeladen werden, gibt es andere Lasten, die ähnliche oder zusätzliche Eigenschaften haben. Hier ein paar Beispiele:

- Klimaanlage dürfen nicht länger als 7 bis 8 Minuten ausgeschaltet werden. Damit der Kompressor nicht beschädigt wird, müssen minimale Aus- und Einschaltzeiten beachtet werden.
- Bei Wärmepumpen darf die maximale Sperrzeit pro 24 Stunden nicht überschritten werden. Wird eine Wärmepumpe gesperrt, so muss sie anschliessend abhängig von der Sperrdauer für eine bestimmte Dauer wieder freigegeben werden. Wegen dem in der Wärmepumpe eingebauten Kompressor müssen minimale Aus- und Einschaltzeiten beachtet werden.
- Stromerzeugungsgruppen werden manchmal in Stufen geschaltet. Es muss deshalb eine Reihenfolge bei den Schaltungen der Regelobjekte vorgegeben werden können.

5. Der Lastregler

Der Lastregler hat zwei grundlegende Aufgaben:

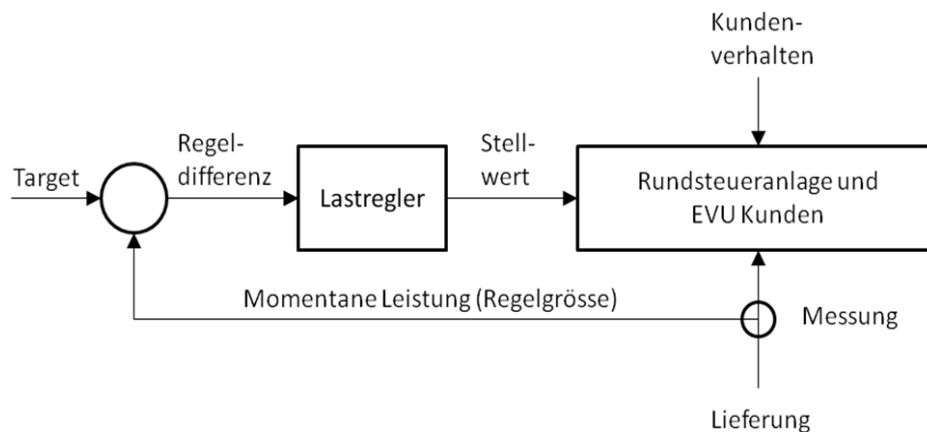
- Die mittlere Leistung während einer Messperiode (Target) muss möglichst genau eingehalten werden.
- Die Kunden des EVU sollen nichts von der Lastreglung merken.

Diese Aufgaben kann der Lastregler nicht in jedem Fall lösen. Ist das Target zu tief eingestellt, so werden alle Regelobjekte ausgeschaltet. Ist dies über längere Zeit der Fall, so werden dies die Kunden feststellen. Auch eine Targetüberschreitung ist möglich, weil keine Regelobjekte mehr ausgeschaltet werden können. Deshalb bleibt die Targeteinstellung die wichtigste Aufgabe des EVU. Der Lastregler liefert aber viele Daten, die diese Entscheidung erleichtert.

5.1. Das Umfeld des Lastreglers

Der Lastregler benötigt zwei Werte:

- Die momentane Leistung (Regelgrösse) und
- den Start der Messperiode, damit der Lastregler die Leistungsspitzen genau gleich misst wie der Übergabezähler des Lieferwerkes.



Das Target ist die Führungsgrösse. Aus der Differenz zwischen der Regelgrösse und der Führungsgrösse errechnet der Lastregler den Stellwert (Regelobjekte die ein- oder ausgeschaltet werden müssen). Die Rundsteueranlage sendet die dazugehörigen Rundsteuerbefehle zu den Rundsteuerempfängern, welche die Lasten ein- beziehungsweise ausschalten.

Vom Lastregler muss berücksichtigt werden, dass das Übermitteln der Rundsteuerbefehle Zeit benötigt (Totzeit) und die Anzahl der Rundsteuersendungen pro Zeiteinheit limitiert ist. Weiter muss berücksichtigt werden, dass die Netzlast nur in Leistungsschritten (Regelobjekt ein- oder ausschalten) verändert werden kann und dass die aktuelle Leistung jedes Regelobjektes bei jeder Schaltung unterschiedlich ist.

5.2. Der Regelalgorithmus des Lastreglers

In der Fachliteratur werden Regelalgorithmen für die verschiedensten Regelaufgaben beschrieben. P-, PI- und PID-Regler eignen sich vor allem zum Regeln von kontinuierlichen Prozessen (stufenlos, kleine Totzeit) währenddem sich Model Predictive Controller mehr für diskontinuierliche Prozesse (schalten von Stufen, grosse Totzeit), wie es die Lastregelung mit der Rundsteuerung der Fall ist, eignen. Der Model Predictive Controller zeichnet sich dadurch aus, dass die Wirklichkeit (das Verteilnetz mit den schaltbaren Boilern, Speicherheizungen, Wärmepumpen usw.) im Regler als Modell abgebildet wird. Schaltungen von Regelobjekten und Targetüber- und Targetunterschreitungen werden über Kurvenscharen mit Optimierungspunkten bewertet. Durch den Vergleich dieser Optimierungspunkte zum aktuellen Zeitpunkt und am Ende der Prognosezeit (mit und ohne Schalten von Regelobjekten) kann eine optimale Schaltvariante errechnet werden.

Bei der Auswahl der Schaltvariante müssen verschiedene Bedingungen mitberücksichtigt werden:

- Darf das ausgewählte Regelobjekt geschaltet werden? Mögliche Gründe: Einhalten von minimalen Ein- und Auszeiten, Einhalten von Ladezeiten, Reihenfolge von Stufenschaltern, das Regelobjekt ist ausserhalb der Ladezeitperiode usw.
- Wird die Beeinträchtigung der Kunden durch Abschalten und Sperren von Regelobjekten auf alle Kunden gleichmässig verteilt (Demokratisierung der Beeinträchtigung)?
- Ist das Einhalten des Targets wichtiger als der Komfort der Kunden?
- Dämpfung von Regelschwingungen wegen der Totzeit und ungenauer Prognose.

5.3. Das Anlagenmodell

Der Targetwert ist die gemittelte Leistung, die während einer Messperiode geliefert wird. Weil es sich um einen Mittelwert handelt, darf die momentane Leistung während einer Messperiode die gemittelte Leistung über- und unterschreiten.

Der Lastregler schaltet Regelobjekte, die eine aktuelle Last haben und deshalb einen Lastsprung verursachen. Der Lastregler muss diese Lastsprünge berücksichtigen und trotzdem den Targetwert genau treffen.

Das Anlagenmodell modelliert den Verlauf der mittleren Leistung während einer Messperiode und wandelt die Abweichungen mittels einer Kurvenschar in Optimierungspunkte um. Mit der Wahl einer Kurve aus der Kurvenschar kann das EVU bestimmen, wie stark die Targeteinhaltung gegenüber dem Kundenkomfort bevorzugt sein soll.

5.4. Die Regelobjektmodelle

Der Lastregler muss mit den unterschiedlichsten Lastarten arbeiten können. Damit der Regelalgorithmus eine Lösung finden kann, muss er die verschiedenen Lastarten miteinander vergleichen können. Dabei ist es vorteilhaft, wenn in einem Regelobjekt nur eine Lastart vorkommt.

Die unterschiedlichen Lastarten lassen sich in fünf verschiedene Modelle einordnen. Jedes Modell besteht aus Kurven, die das physikalische Verhalten beschreiben. Diese Kurven müssen bei der Parametrierung des Regelobjektes in der Zeitachse definiert werden. Beispiel eines Boiler-Regelobjektes:

- Wie lange dauert es, bis ein kalter Boiler seine Endtemperatur erreicht hat.
- Wie lange dauert es bei Spitzenlast, bis in einem geladenen Boiler die Wassertemperatur soweit abgesunken ist, dass das Boilerwasser nicht mehr als warm bezeichnet werden kann.

Bei Boilern ist es nicht vorteilhaft, wenn diese zu oft ein- und ausgeschaltet werden, da bei jedem Einschalten eine Durchmischung des kalten und des warmen Wassers erfolgt. Bei kleinen Direktheizungen ist es besser, wenn sie nur kurz ausgeschaltet werden und somit oft geschaltet werden. Um dies zu modellieren, ist der Parameter ‚Anzahl Schaltungen‘ im Regelobjektmodell vorgesehen.

Für die fünf verschiedenen Regelobjektmodelle sind die folgenden Parameter einzugeben:

Regelobjekt-modell	Ladezeit	Entladezeit	Anzahl Schaltungen	Min. Freigabe-Dauer	Max. Sperr-dauer
Boiler (24 h freigegeben)	Ja	Ja	Ja		
Boiler (Niedertarif-aufladung)	Ja		Ja		
Stromerzeugungsgruppen			Ja		
Klimaanlagen			Ja		
Wärmepumpen			Ja	Ja	Ja

Mit den Kurven lassen sich Optimierungspunkte berechnen, die bei einem Boiler auf die Wassertemperatur schliessen lassen. Damit können verschieden grosse Boiler miteinander verglichen werden.

Ein weiterer Parameter für ein Regelobjekt ist die momentane Leistung. Wie bereits erwähnt, ändert die Leistung eines Regelobjektes dauernd. Die grösste Genauigkeit für den Leistungswert eines Regelobjektes wird erreicht, wenn die Schaltleistung bei jeder Schalthandlung gemessen wird. Weil

die Modelle die Vorgeschichte des Regelobjektes mit den Optimierungspunkten aufzeichnen, kann der gemessene Leistungswert eingeordnet werden und so eine virtuelle installierte Leistung berechnet werden. Diese virtuelle installierte Leistung ist bei einer Speicherheizung im Sommer 0 kW und im Winter gleich der tatsächlich installierten Leistung. Diese virtuelle installierte Leistung wird im Lastregler zur Prognosestellung verwendet.

5.5. Die Ladungsüberwachung

Für Lasten wie Boiler, Speicherheizungen, Wärmepumpen usw. bestehen zwischen dem EVU und den Kunden vertragliche Abmachungen. Einige Beispiele:

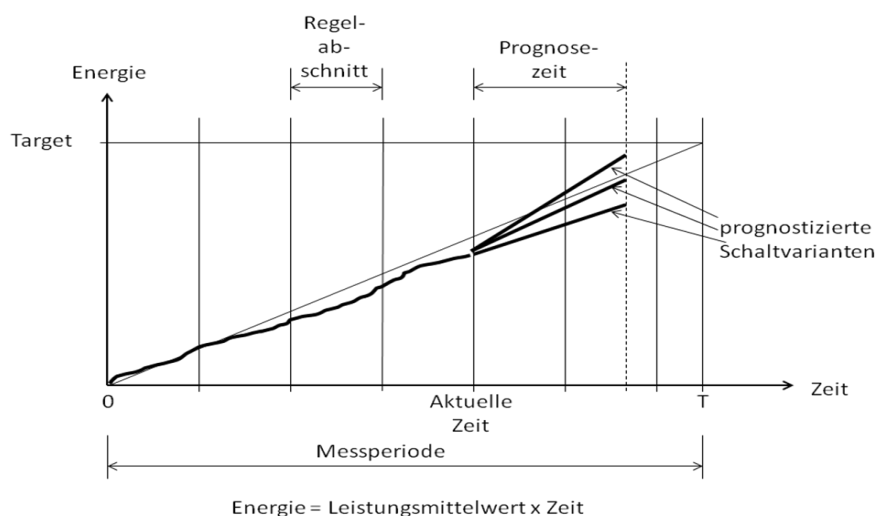
- Ein Boiler darf nur während der Niedertarifzeit aufgeladen werden und die minimale Ladezeit ist festgelegt.
- Ein Boiler mit kurzer Ladezeit soll erst gegen das Ende der Niedertarifzeit aufgeladen werden.
- Speicherheizungen sollen in zwei oder mehr Zeitperioden aufgeladen werden.
- Wärmepumpen dürfen innerhalb von 24 Stunden maximal 4 Stunden gesperrt sein. Eine Sperrperiode soll nicht mehr als 2 Stunden betragen. Nach einer Sperrzeit von 1 Stunde soll die Wärmepumpe mindestens 2 Stunden nicht wieder gesperrt werden.

Weiter kann auch festgelegt werden, was mit einem Regelobjekt passieren soll, wenn die minimal vorgegebene Ladezeit nicht erreicht wird. Hier einige Beispiele:

- Am Ende der Ladeperiode oder wenn die minimale Ladezeit nicht mehr erreicht werden kann, einen Alarm abgeben.
- Am Ende der Ladeperiode weiter laden bis die minimale Ladezeit erreicht ist.
- Wenn die minimale Ladezeit gerade noch erreicht werden kann, das Regelobjekt bis zum Ende der Ladeperiode einschalten.

5.6. Die Berechnung des Regelalgorithmus

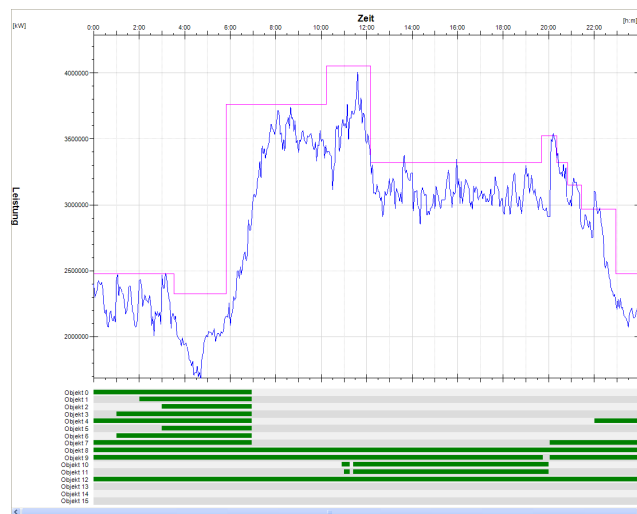
Weil das Ausführen der Schalthandlungen bei den Rundsteuerempfängern einige Zeit beansprucht, ist es vorteilhaft die Messperiode in Regelabschnitte aufzuteilen. Die erste Berechnung einer Schaltvariante findet beim Beginn der Messperiode statt. Die zweite und die folgenden Berechnungen einer Schaltvariante finden nach je 30 ... 300 Sekunden statt. Die Zeit hängt vom verwendeten Rundsteuersystem, der Messperiodendauer und der Belastbarkeit der Rundsteueranlage ab.



Bei der Berechnung der Schaltvarianten wird wie folgt vorgegangen:

- Über eine Prognosezeit wird berechnet, wie sich die Netzleistung verhalten wird, wenn kein Regelobjekt geschaltet wird.
- Ist eine Korrektur der Netzleistung notwendig, so werden Regelobjekte gesucht, mit denen die entsprechende Leistungskorrektur durchgeführt werden kann.
- Wenn ein Regelobjekt lange ausgeschaltet war, so werden Regelobjekte ausgeschaltet, die momentan eingeschaltet sind und in der Vergangenheit noch nicht so lange ausgeschaltet waren, damit das lange ausgeschaltete Regelobjekt wieder eingeschaltet werden kann (Demokratisierung der Beeinträchtigung).

Es wird eine Schaltvariante gesucht und ausgeführt, bei welcher die Targeteinhaltung und die Demokratisierung der Beeinträchtigung optimal berücksichtigt werden.



6. Technische Daten des Lastreglers

- Maximale Anzahl Regelobjekte: 32
- Messperiodendauer: 10 bis 60 Minuten
- Messeingang: 0 ... 20 mA, 4 ... 20 mA oder Zählimpulse
- Messperiodensynchronisation: Extern oder intern

Swistec**Energiemanagement mit System**

Rundsteuerung | Smarte Lösungen | Transformatoren

Swistec Systems AGAllmendstrasse 30 · Postfach 182 · CH-8320 Fehraltorf
Telefon +41 43 355 70 50 · Telefax +41 43 355 70 51
info@swistec.ch · www.swistec.ch