

Vortrag beim Fraunhofer IWES in Kassel am 22.06.2010:

# Einführung in das Konzept „Dynamischer Relativpreis“

Vorbemerkungen:

Für die Konvertierung in pdf musste der ansprechende Hintergrund-Farbverlauf durch eine einzige Farbe ersetzt werden.

Diese pdf-Datei ist in erster Linie gedacht für Teilnehmer eines Vortrags von Walter Schittek mit allen mündlichen Ausführungen und anschließender Diskussion.

Sie eignet sich aber auch, um einen ersten Überblick zu erhalten und dann gezielt in Details des Buches einzusteigen.

# Variable Stromtarife

# Brauchen wir variable Stromtarife überhaupt?

Zunehmender Ausbau fluktuierender Erzeugung.

→ Perspektiven für die kommenden Jahre:

- Sekundärregelung, Minutenreserve, Einplanung von Kraftwerkskapazitäten: immer größere Schwankungen.
- Heutiges Demand-Side Management kommt an seine Grenzen.

→ Stärkere Anpassung der Nachfrage an das Angebot nötig!



## Vorteile variabler Stromtarife

- Stromkunden: Hoher Anreiz, die Nachfrage an das Angebot anzupassen.
- Betreiber steuerbarer Erzeugungsanlagen (auch Blockheizkraftwerke, abgestellte Elektroautos): Anreiz, zum Ausgleich von Angebotsengpässen beizutragen.
- Insgesamt: Weniger steuerbare Erzeugungsleistung (Kraftwerke) nötig als bei festem Strompreis.

# Lastsprünge an der Viertelstunden-Grenze

Die folgenden Ausführungen können das Lesen des Artikels „Lastsprünge an der Viertelstunden-Grenze“ nicht ersetzen, siehe <http://www.staff.uni-marburg.de/~schittek/Viertelstunden-Lastwechsel.pdf>

# Warum sind automatische Reaktionen von Verbrauchersseite unvermeidlich?

Komplexe variable Tarife mit 6 oder 10 Preisveränderungen pro Tag.

Dabei starke Korrelation der Preissprünge (EEX).

- Kunden: täglicher Zeitaufwand.
- Herkömmliche Kühl- und Gefrierschränke (und gewerbliche Anlagen) arbeiten unnötig teuer.
- ➔ Kunden: großes Interesse an automatischen Reaktionen ihrer Geräte.
  - z.B. per digitalSTROM®
  - zur Not auch gegen den Willen der Versorger (bundes-/europaweit).

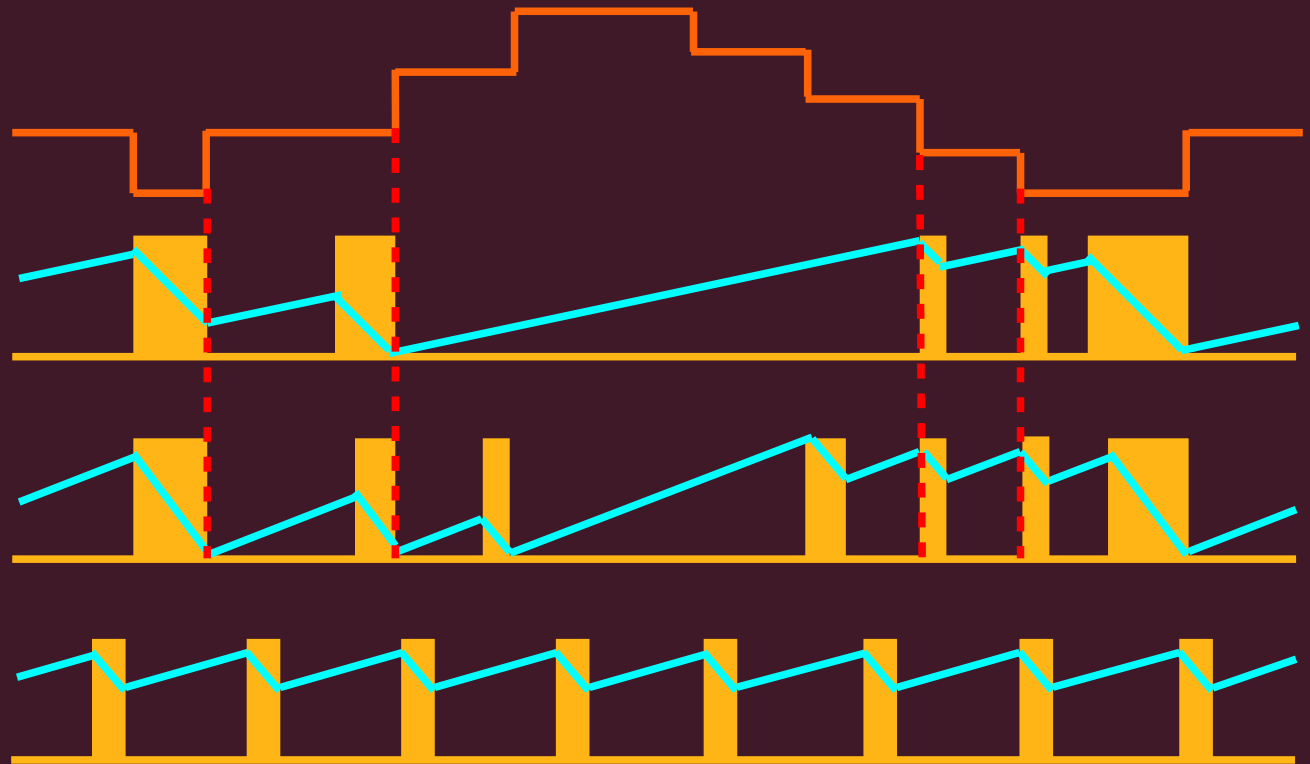
# Wie sparen Kühlschränke am besten Stromkosten?

Preisverlauf

Voller  
Kühlschrank

Fast leerer  
Kühlschrank

Herkömmlicher  
Kühlschrank



Fazit: Mehrmals pro Woche schaltet deutlich mehr als die Hälfte aller Kühl- und Gefriergeräte und -anlagen gleichzeitig in dieselbe Richtung.

# Wie groß kann die Summe aller Lastsprünge werden? (1)

Vorsichtige Annahmen:

- 40 Mio Haushalte in Deutschland mit je 1 Kühl-/ Gefriergerät mit je 80 W Nennleistung: 3,2 GW.
- Gesamtleistung aller gewerblichen Kühl-/ Gefriergeräte und -anlagen am Stromnetz: 1,8 GW.
- Mehrmals pro Woche schalten mindestens 60 % dieser Geräte/Anlagen gleichzeitig.

Zwischenergebnis:

- 5 GW Gesamtleistung in Deutschland.
- ➔ Gesamt-Lastsprung von 3...5 GW.

(Die europäische Primärregelreserve beträgt 3 GW.)



# Wie groß kann die Summe aller Lastsprünge werden? (2)

Alle europäischen Kühl-/Gefriergeräte und -anlagen zusammen:

→ ca. 4x so großer Lastsprung: min. 12 GW.

Elektrische Warmwasserbereiter mit Vorratsspeicher, Speicherheizungen, Elektroautos usw.:

- jeweils eine Nennleistung von mehreren kW.
  - Annahme: Jeder 50. der 450 Mio. Einwohner im ehem. UCTE-Gebiet betreibt ein 2-kW-Gerät, das gleichzeitig mit allen anderen schaltet.
- zusätzlicher Lastsprung von 18 GW.

# Wie groß kann die Summe aller Lastsprünge werden? (3)

Ergebnis:

*Nach dauerhafter Einführung komplexer variabler Tarife mit überwiegend korrelierten Preissprüngen muss damit gerechnet werden, dass europaweit **Gesamt-Lastsprünge von z.B. 30 GW** (20...100 GW) entstehen, wenn alle in Frage kommenden Arten von Geräten/Anlagen automatisch auf Preisveränderungen reagieren.*

(Tolerabel wären Lastsprünge deutlich unter 1 GW.)

# Lösungsansätze

z.B.:

- Zufällige Variation des Schaltzeitpunkts.
- Ent-korrelierte Preisbewegungen.
- Unterschiedliche Viertelstundenrhythmen.
- Kürzere Zeitabstände, z.B. 5/3/1 Min.

Aber: Nachteile / neue Probleme.

Es gibt nicht DIE Lösung zum Nachrüsten.

→ „Krisenmanagement“ ohne Ende ??

Dauerlösung muss vorher gefunden werden!

→ Bei nicht-kontinuierlichem Preisverlauf sehr schwierig.

## Fazit

Wenn seriös über Tarifmodelle mit Viertelstunden-grenze gesprochen wird, sollte immer auch deutlich darauf hingewiesen werden,

- dass das Thema Lastsprünge existiert.
- dass ggf. angeführte Lösungsansätze möglicherweise nicht zu einer dauerhaften Lösung führen.
- dass nur durch gründliche Untersuchungen herausgefunden werden kann, ob Tarifmodelle mit nicht-kontinuierlichem Preisverlauf dauerhaft eingesetzt werden können. (Beweislast-Umkehr!)

Solche klaren Worte waren vor 2010 nicht zu hören.

# Integriertes Angebot- Nachfrage-Management

# Status Quo / Perspektive

Instrumente zum Management von Angebot und Nachfrage:

- Einplanung von Erzeugungsleistungen.
- Leistungs-Frequenz-Regelung.
- Demand-Side Management, z.B. anreizbasiert.
- Variable Tarifmodelle (ohne Verknüpfung mit der Sekundärregelung).

Letztlich muss die Leistungs-Frequenz-Regelung alle Nebenwirkungen der anderen Bestandteile ausgleichen.

# Ein integriertes Angebot-Nachfrage- Managementsystem ...

... regelt Angebot und Nachfrage aus einem Guss.

→ Vorteile:

- Es wirkt nicht als potenzieller Störfaktor für Primär- und Sekundärregelung, sondern arbeitet integriert in die Leistungs-Frequenz-Regelung.
- Es hat keine „Angst“ vor maximalen automatischen Reaktionen, sondern läuft dabei zur Höchstform auf.
- Wenn alle Beteiligten bei Erzeugung und Verbrauch maximal einbezogen werden, erfüllt es seine Aufgabe ideal: Besser geht's nicht.

# *Ideales* integriertes Angebot-Nachfrage-Management ...

... ist die Voraussetzung für den maximalmöglichen Ausbau fluktuierender Erzeugung, wenn man die zukünftige Stromversorgung

- absolut versorgungssicher,
- mit einem Minimum an Schattenkraftwerksleistung,
- so kostengünstig wie möglich und
- Ressourcen-optimiert

aufstellen will.

(Das Konzept „Dynamischer Relativpreis“ ist nur eine denkbare Realisierungs-Variante.)



# Wie hoch muss der Strompreis steigen?

Extrembeispiel: Wenn jeden Abend von 18-19 Uhr der Strom 1000x so teuer wäre wie normal, ...  
... würde der Verbrauch nahezu auf null sinken.

Überschlägige Berechnung unter Zuhilfenahme der Preiselastizität:

- Nur noch 50 % der gesicherten Leistung (nach heutigen Maßstäben berechnet).
- Ideales Angebot-Nachfrage-Management.
- ➔ Der Strompreis ginge dabei nur sehr selten über das Dreifache seines normalen Wertes hinaus.

# Dynamische Preisbildung – Versuch einer Definition

Beispiel für ein ideales integriertes Angebot-Nachfrage-Management:

Variabler Strompreis mit dynamischer Preisbildung.

Definition:

Eine dynamische Preisbildung zeichnet sich dadurch aus, dass der grundsätzliche Preisbildungsmechanismus auch dann ohne Nachteile unverändert beibehalten werden kann, wenn alle (!) in Frage kommenden Anlagen und Geräte auf die Preisinformation automatisch reagieren.

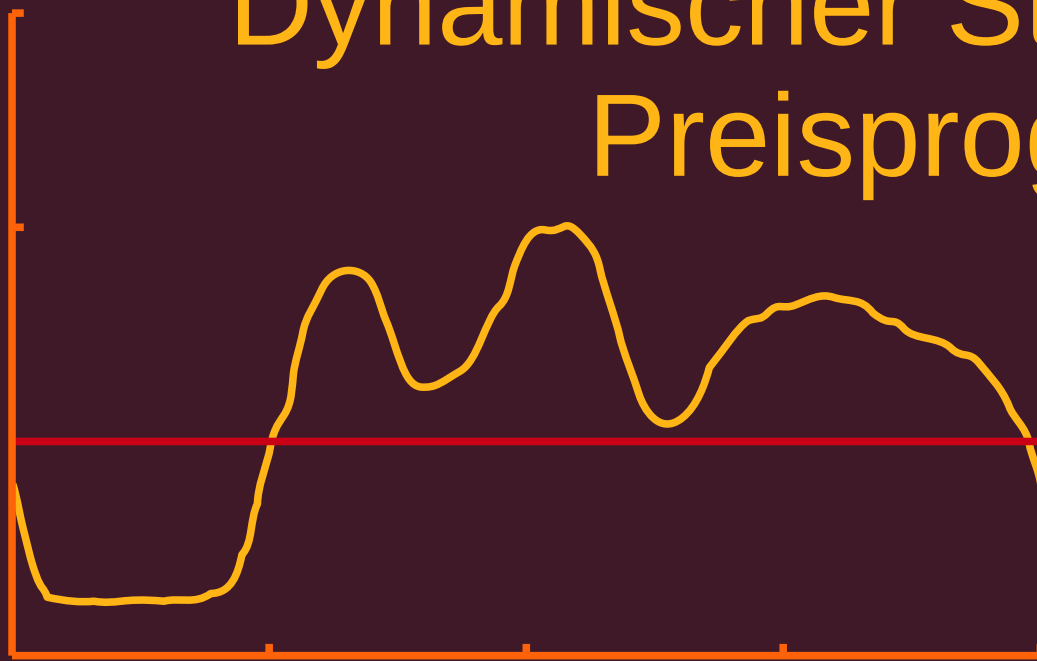
Hieraus ergeben sich mehrere Anforderungen.

# Anforderungen an eine dynamische Preisbildung

- Anpassung des Preises an die Momentansituation.
- Ausreichend häufige Neuermittlung des Preises.
- Für sanfte und verhältnismäßige automatische Reaktionen müssen Vorgaben gemacht werden.
- Kein missbrauchbar fester Rhythmus der Neuermittlung.

# Das Konzept „Dynamischer Relativpreis“

# Dynamischer Strompreis mit Preisprognose



Unterschiede zu gängigen Preismodellen:

- Preisprognose statt vorherige Festlegung

- relative Preisangabe (z.B. 80 %) statt Ct/kWh
- einheitliche quasi-kontinuierliche Preisanpassung
- grafische Darstellung des Preisverlaufs statt Tabelle mit Tarifzeiten.
- größtmögliche Verknüpfung mit der Sekundärregelung

# Basispreis und Relativpreis

Bisher: fester Arbeitspreis in Ct pro kWh ...

→ zukünftig: „**Basispreis**“

- wie bisher im Vertrag mit dem EVU festgelegt.
- auf Verbrauchs- und Erzeugungsseite.

Neu: Der **relative Strompreis** (kurz: Relativpreis)

- dient als momentaner Faktor für den Basispreis.
- schwankt z.B. im Bereich 20...300 %.
- wird zentral kontinuierlich neu ermittelt,
- für die Verbrauchsseite einheitlich je Staat.
- für die Erzeugungsseite einheitlich je Regelzone.

# Der Durchschnitts-Relativpreis

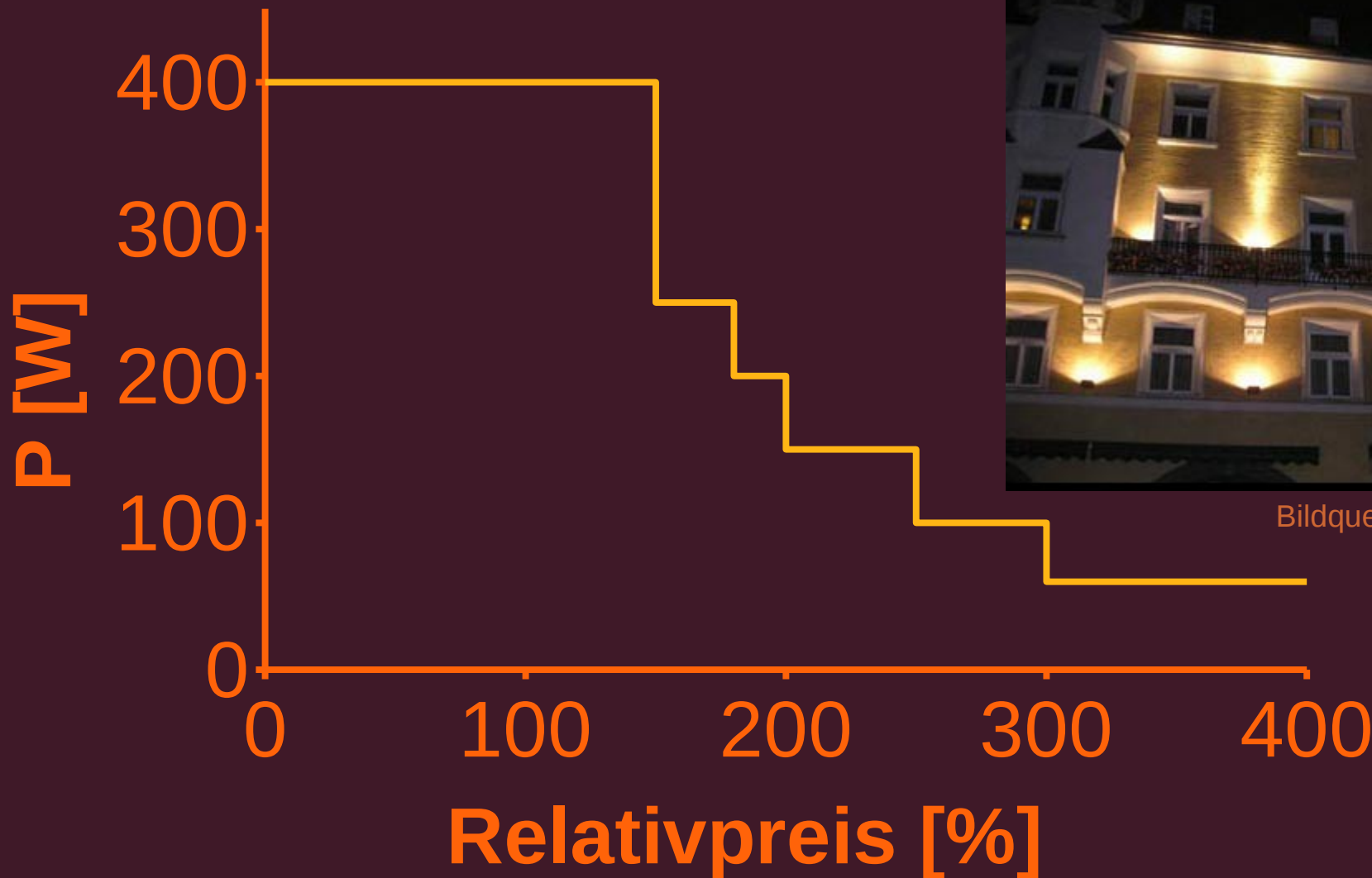
*Der durchschnittliche Privat-Stromkunde zahlt für seinen Strom im Jahresmittel einen relativen Strompreis von (max.) 100 %, kann also mit dem Basispreis kalkulieren.*

- „Durchschnittlich“ bezieht sich auf Geräteausstattung, -nutzung und Sparverhalten.
- **Unumstößliche Forderung!**
- wird bei Bedarf auf wirtschaftlichem Wege bei den EVUs durchgesetzt.
- kann u.a. durch passende Steuerung von Kraftwerken zielgenau erfüllt werden.

# Einbeziehung der Verbrauchsseite



# Automatische Reaktionen bei Haushalten und Gewerbe (1)



Bildquelle: [www.tekkto.com](http://www.tekkto.com)

# Automatische Reaktionen bei Haushalten und Gewerbe (2)

Neu entwickelte Geräte: intelligente Steuerung.

- sorgt für möglichst niedrige Stromkosten.
- ohne nennenswerte Einschränkung der Gerätefunktion, solange keine Netzstörung vorliegt.
- Standardvorgaben für das automatische Sparen.
- Nutzervorgaben einstellbar.

Langlebige Altgeräte („weiße Ware“): intelligente Zwischensteckdosen.

- Preisabhängige Steuerung so gut wie möglich.

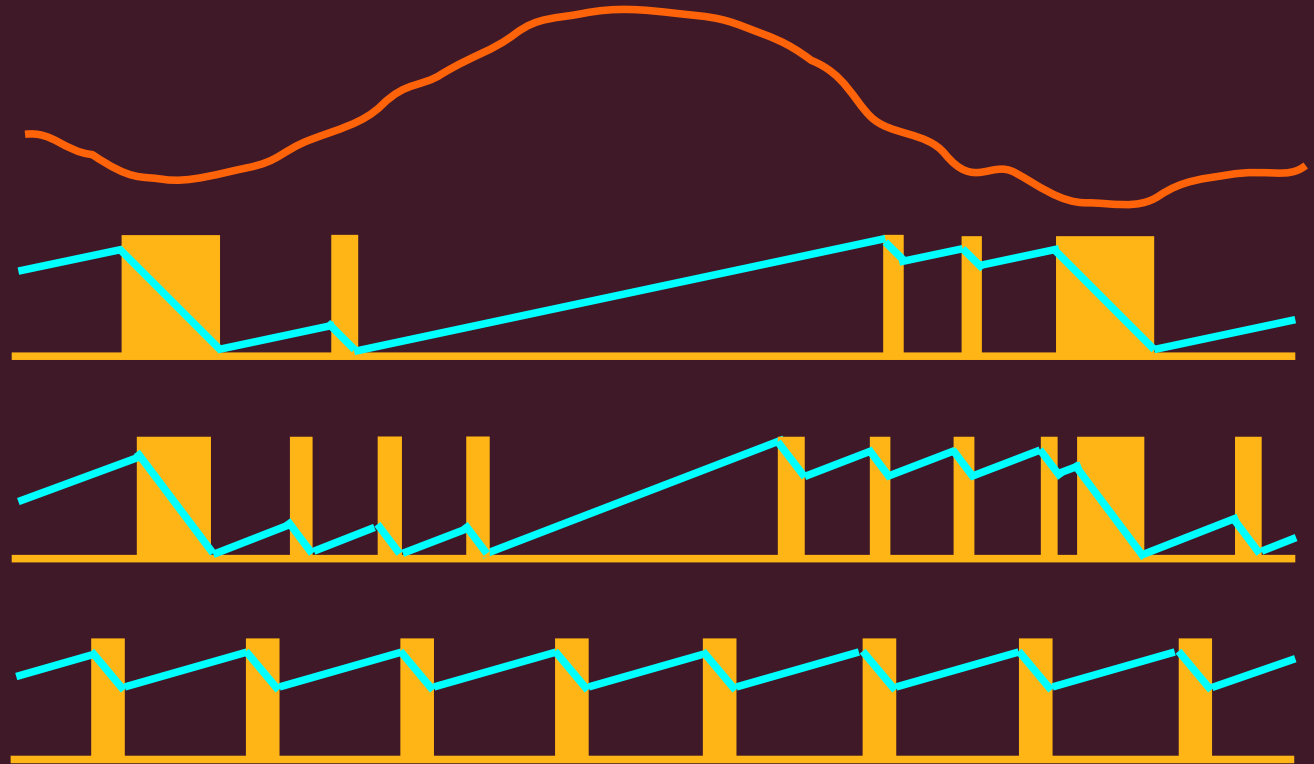
# Beispiel: Kühl- und Gefriergeräte

Preisverlauf

Voller  
Kühlschrank

Fast leerer  
Kühlschrank

Herkömmlicher  
Kühlschrank



➔ Keine zwangsläufigen Gleichzeitigkeiten!

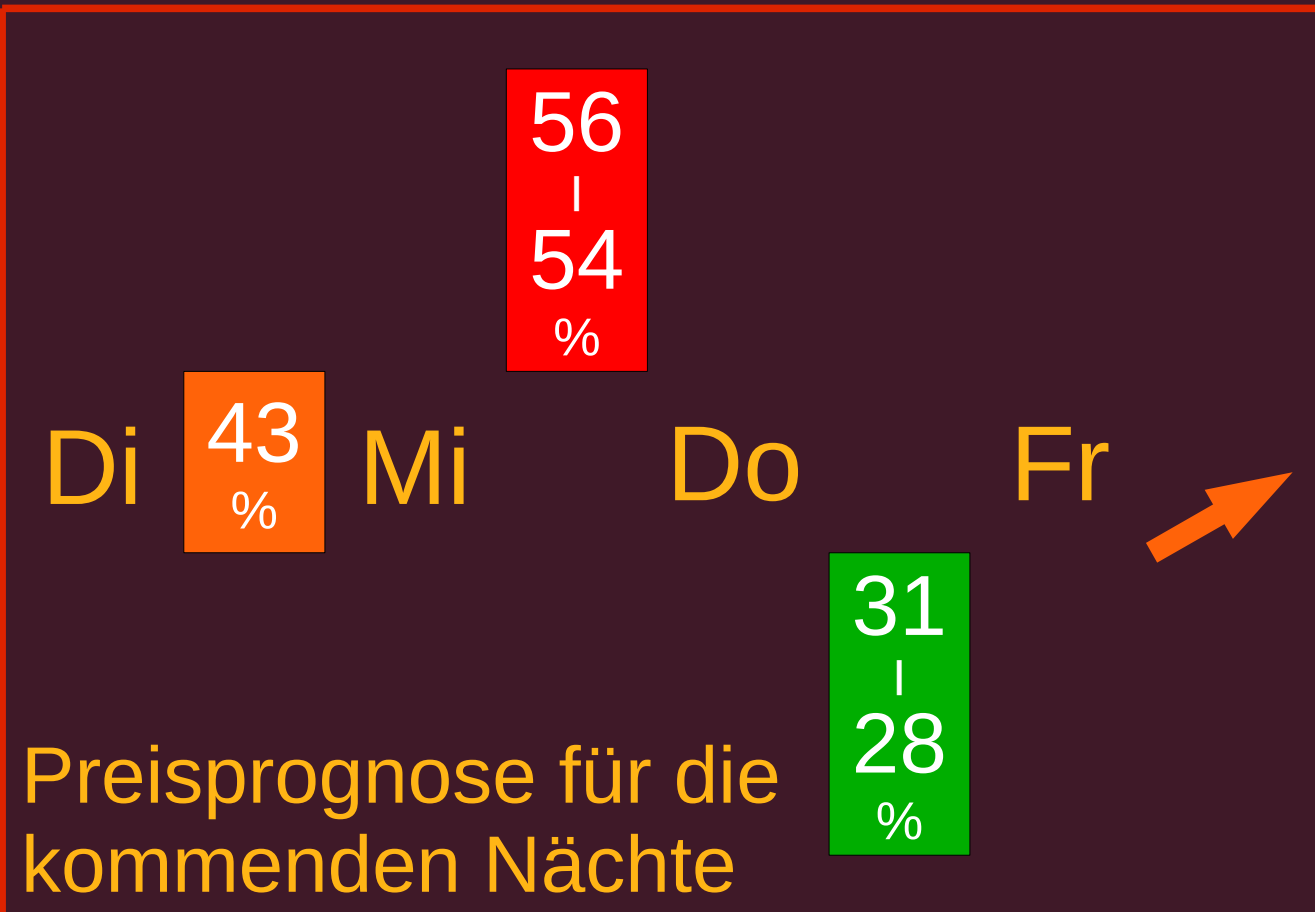
Zukünftig: phase change materials (PCM)?

➔ Kühlschränke laufen fast nur noch nachts ...

Details: im Buch 2.3.2, sowie  
Artikel „Lastsprünge ...“ 2.2

# Beispiel: Waschmaschine und Spülmaschine

Per Drehknopf wird die späteste Ende-Zeit vorgegeben.

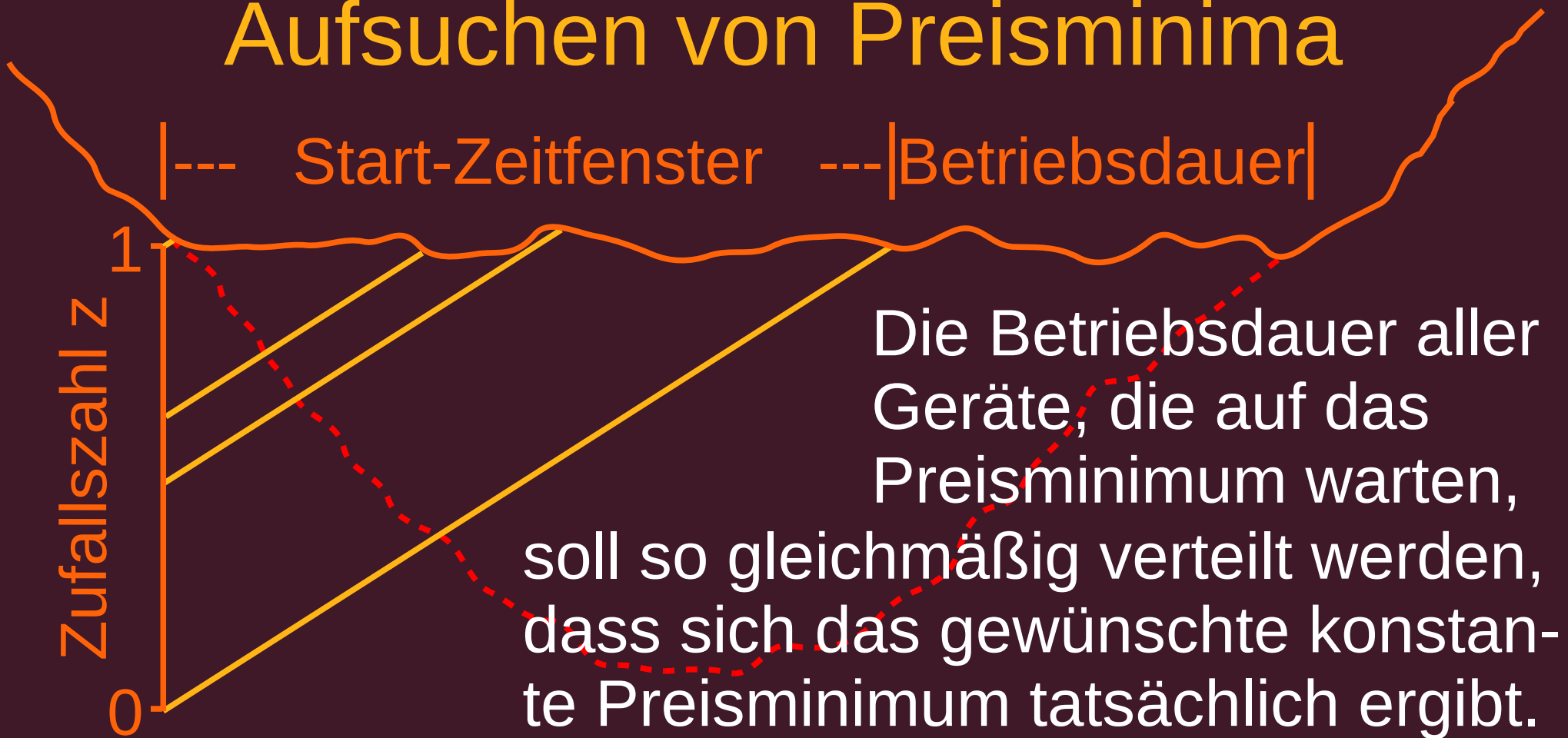


ben.

Dabei sieht man direkt die voraussichtliche Ersparnis gegenüber dem Sofortstart.

Die Maschine sucht sich selbst die billigste Zeit.

# Aufsuchen von Preisminima

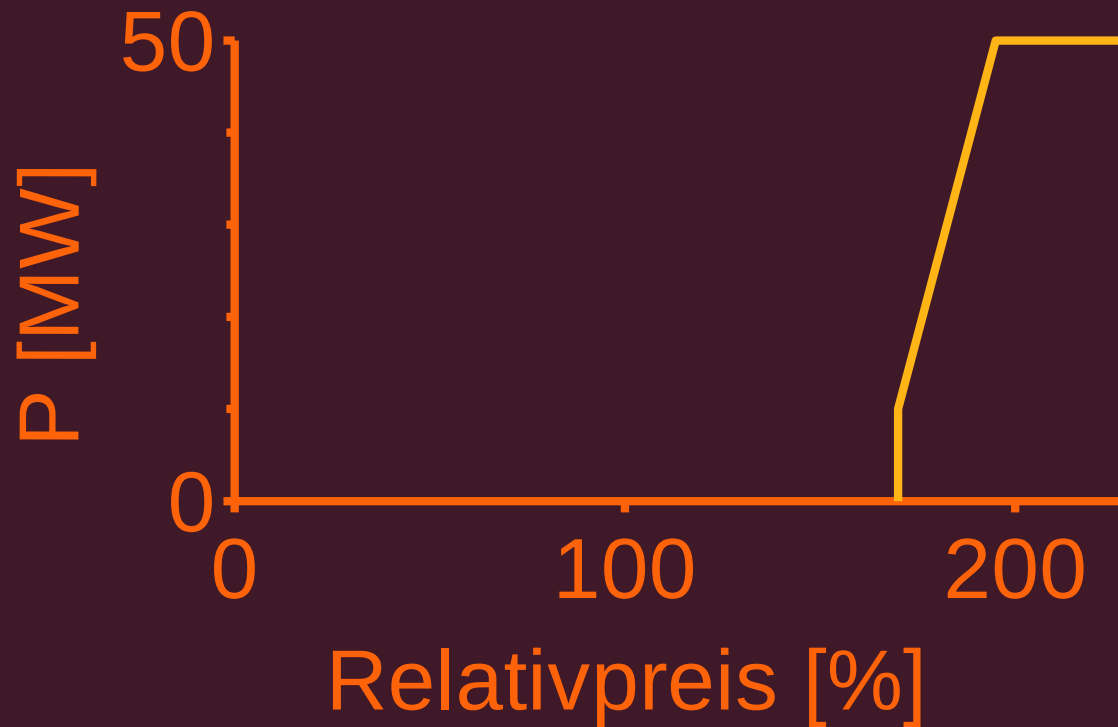


Die Betriebsdauer aller Geräte, die auf das Preisminimum warten, soll so gleichmäßig verteilt werden, dass sich das gewünschte konstante Preisminimum tatsächlich ergibt.

Der Startzeitpunkt jedes Geräts ergibt sich aus der Zufallszahl  $z$ , der Schwankungsunempfindlichkeit  $SU$  (Steigung der Geraden) und dem Preisverlauf.

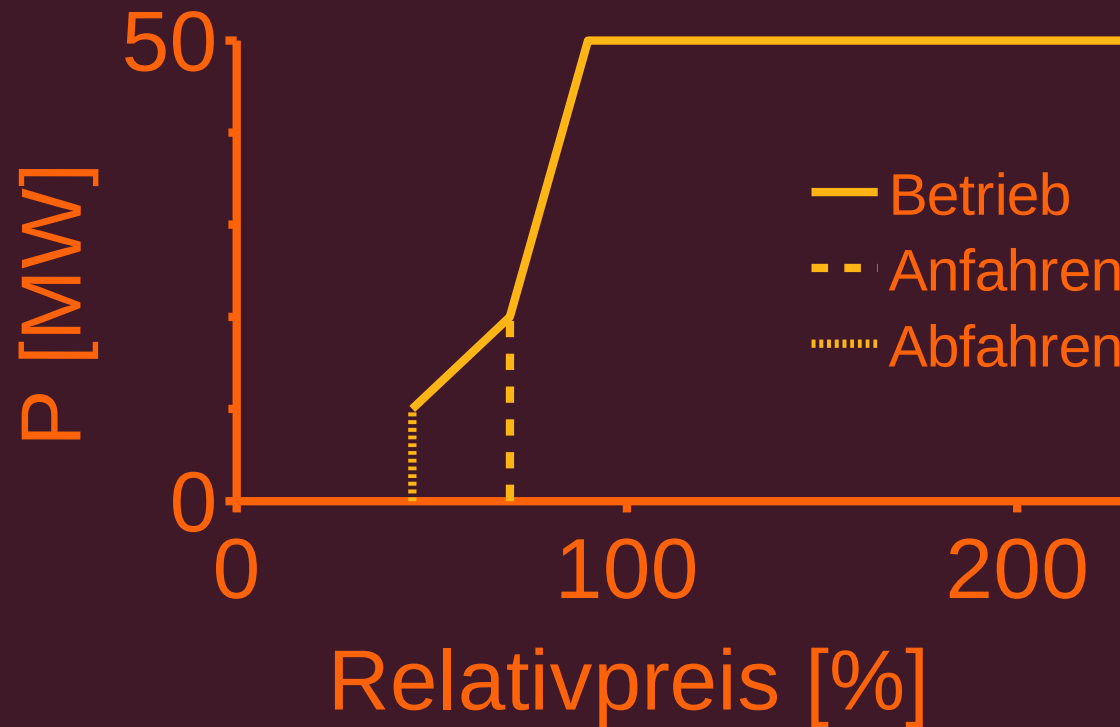
# Einbeziehung der Erzeugungsseite

# Relativpreis-gesteuerte Erzeugungsanlagen (1)



Beispiel: Eine 50-MW-Anlage für teure Zeiten.

# Relativpreis-gesteuerte Erzeugungsanlagen (2)



Beispiel: Eine 50-MW-Anlage, die fast immer läuft.



# Möglichkeiten der Relativpreis- Steuerung

Der Betreiber einer steuerbaren Erzeugungsanlage entscheidet,

- ob,
- zu welchem Anteil,
- mit welcher (beliebig komplexen) Abhängigkeit sie relativpreisgesteuert arbeiten soll.

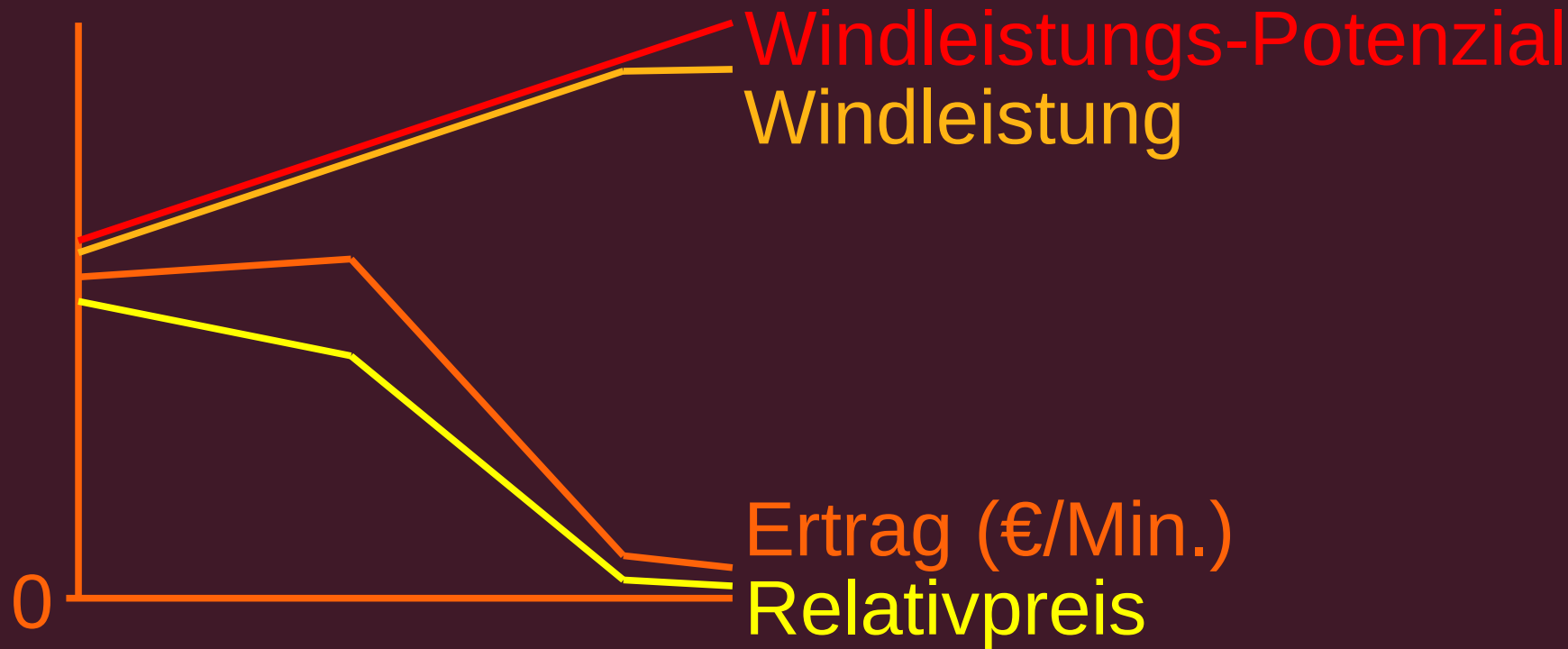
Diese Vorgaben können bei Bedarf beliebig häufig verändert werden.

# Verteilte Erzeugung – vielfältig!

Als steuerbare Erzeugungsanlagen zählen auch:

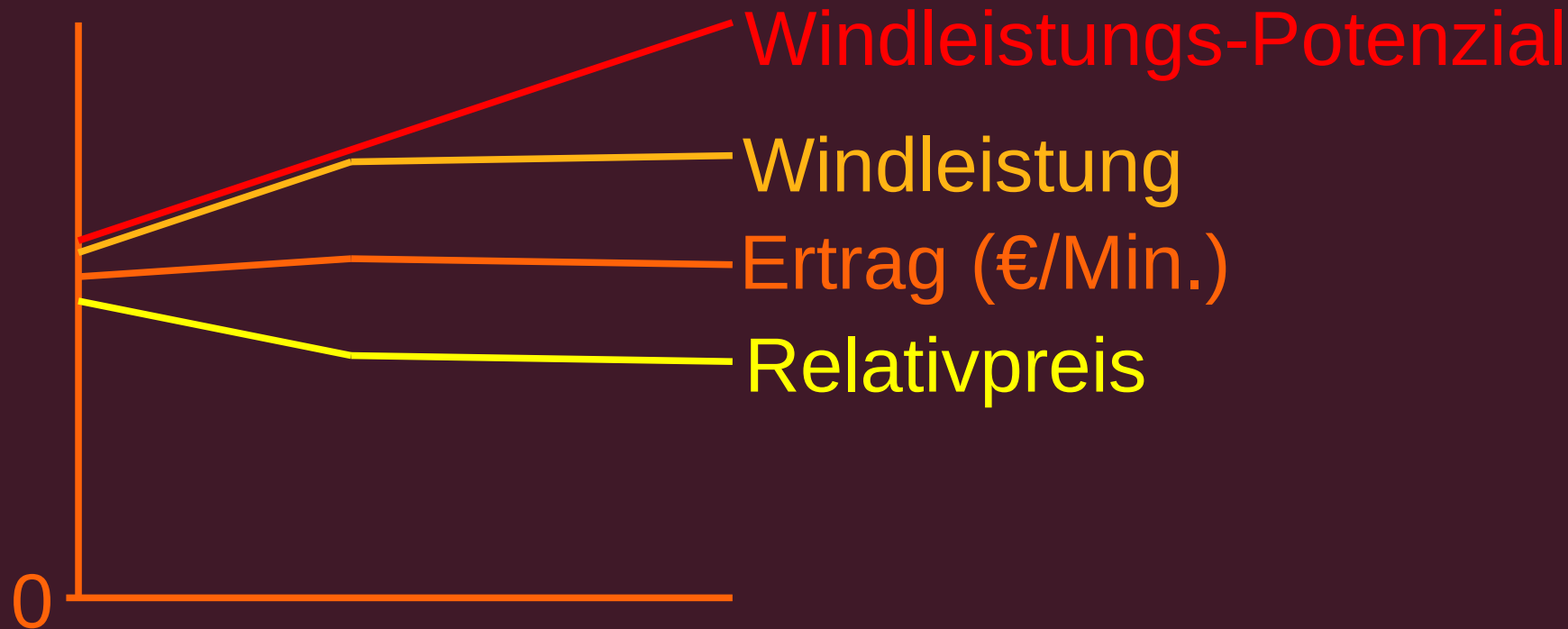
- Blockheizkraftwerke jeder Größe. Bei einem Relativpreis über z.B. 250 % arbeiten sie nicht mehr wärmegeführt, sondern stromgeführt.
- Abgestellte Elektro-Pkw und -Nutzfahrzeuge. Bei einem Relativpreis über z.B. 200 % speisen sie ins Netz ein. Der Nutzer gibt vor, wie viel Restladung in welcher Situation erhalten bleiben muss.

# Windkraft als Preiskiller? (1)



Unterhalb von z.B. 20 % Relativpreis gibt es nur wenig zusätzliche Nachfrage, z.B. Wasserstoff-Erzeugung, Wärme aus Strom. Weiter steigende Windleistungen würden den Ertrag drücken.

## Windkraft als Preiskiller? (2)



Eine Absprache aller WKA-Betreiber, ihre Anlagen unterhalb 20 % Relativpreis abzuregeln, würde ihre Erträge sichern. Aber zukünftig enorme regenerative Ressourcen ungenutzt lassen.

# Windkraft als Preiskiller? (3)



Lösung: Preisdifferenzierung mit Selbstselektion.  
 Die Preisregion 20...1 % Relativpreis steht nur Sondervertragskunden für zusätzliche Lasten offen, die nur in diesem Preisbereich eingeschaltet werden.

# Die virtuelle Sekundärregelung (ganz grob)

# Woran orientiert sich der Relativpreis?

Preis	Nachfrage		
Angebot	hoch	mittel	niedrig
hoch	normal	billig	sehr billig
mittel	teuer	normal	billig
niedrig	sehr teuer	teuer	normal

Der Relativpreis orientiert sich scheinbar an der relativen Auslastung aller steuerbaren Erzeugungsanlagen.

In Wirklichkeit ist es genau umgekehrt.

# Das Prinzip der virtuellen Sekundärregelung (ganz grob)

Mindestens ein Teil der steuerbaren Erzeugungsanlagen (z.B. 30 %) wird zukünftig Relativpreisabhängig gesteuert (nach Belieben des Betreibers). Die bisherige Stellgröße  $\Delta P_d$  der Sekundärregelung (je Regelzone) dient jetzt nur noch zur Anpassung des Relativpreises.

Dies geschieht für die Erzeugungsseite je Regelzone, für die Verbrauchsseite bundesweit einheitlich. Somit verändert sich der Strompreis immer dann in die richtige Richtung, wenn ein Leistungsungleichgewicht auszugleichen ist.



# Der Relativpreis als neue Steuergröße

Alle automatisch auf den Strompreis reagierenden Verbrauchsgeräte und -anlagen werden so in die Sekundärregelung einbezogen.

Je stärker neben der Verbrauchsseite auch die Erzeugungsseite auf Preisveränderungen reagiert, desto geringer fallen die nötigen Preisvariationen aus.

Bei allen nicht direkt Relativpreis-abhängig gesteuerten Erzeugungsanlagen sorgt der Relativpreis (bzw. Nachfrageprognosen) indirekt für eine passende Steuerung, zumindest in den Extremlagen.

# Die Relativpreis-Ermittlung und die virtuelle Sekundärregelung ...

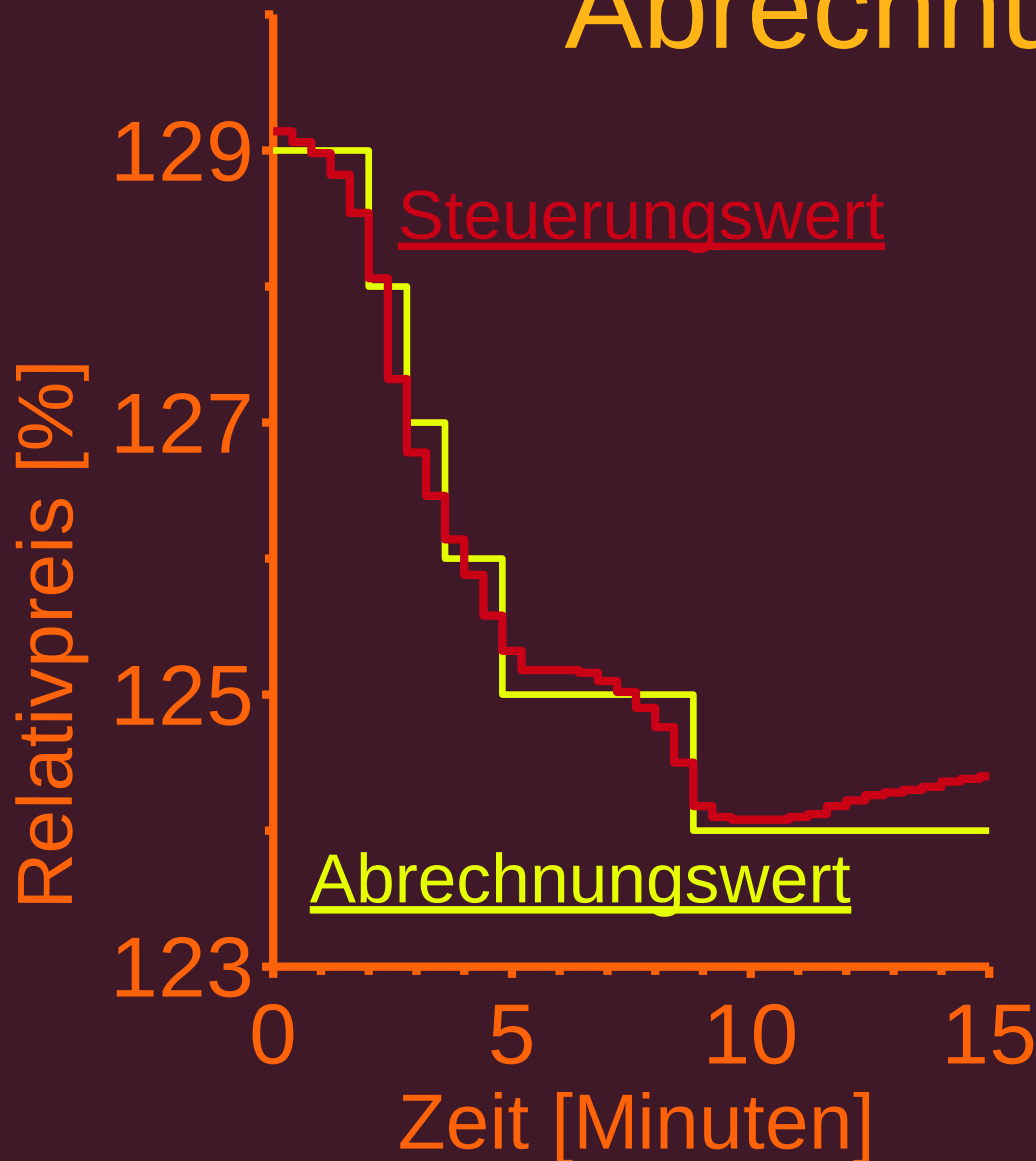
... sind wie zwei Seiten derselben Medaille.

Der Relativpreis ist zugleich

- die Steuergröße für große Teile der Erzeugungs- und Verbrauchsseite.
- die nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimal gewählte Abrechnungsgröße für die Erzeugungs- und die Verbrauchsseite. Und sogar für Austauschleistungen zwischen Regelzonen.

# Technische Vorgaben

# Steuerungswert und Abrechnungswert



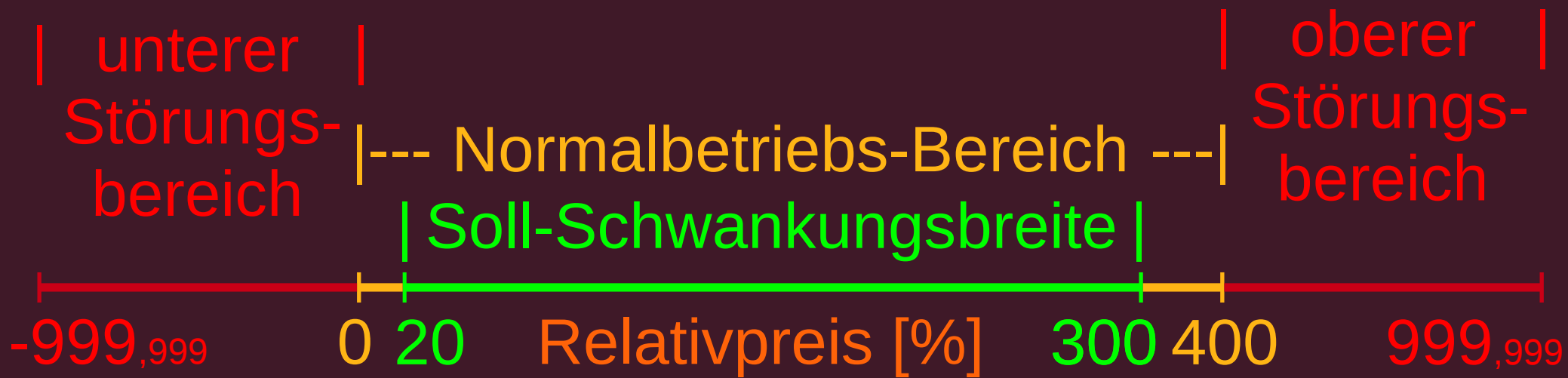
## Steuerungswert:

- drei Nachkommastellen, z.B. 125,183 %.

## Abrechnungswert:

- wird aus dem Steuerungswert gemittelt und dann als Ganzzahl gerundet, z.B. 125 %.
- darf nicht zur automatischen Steuerung verwendet werden.

# Die Soll-Schwankungsbreite

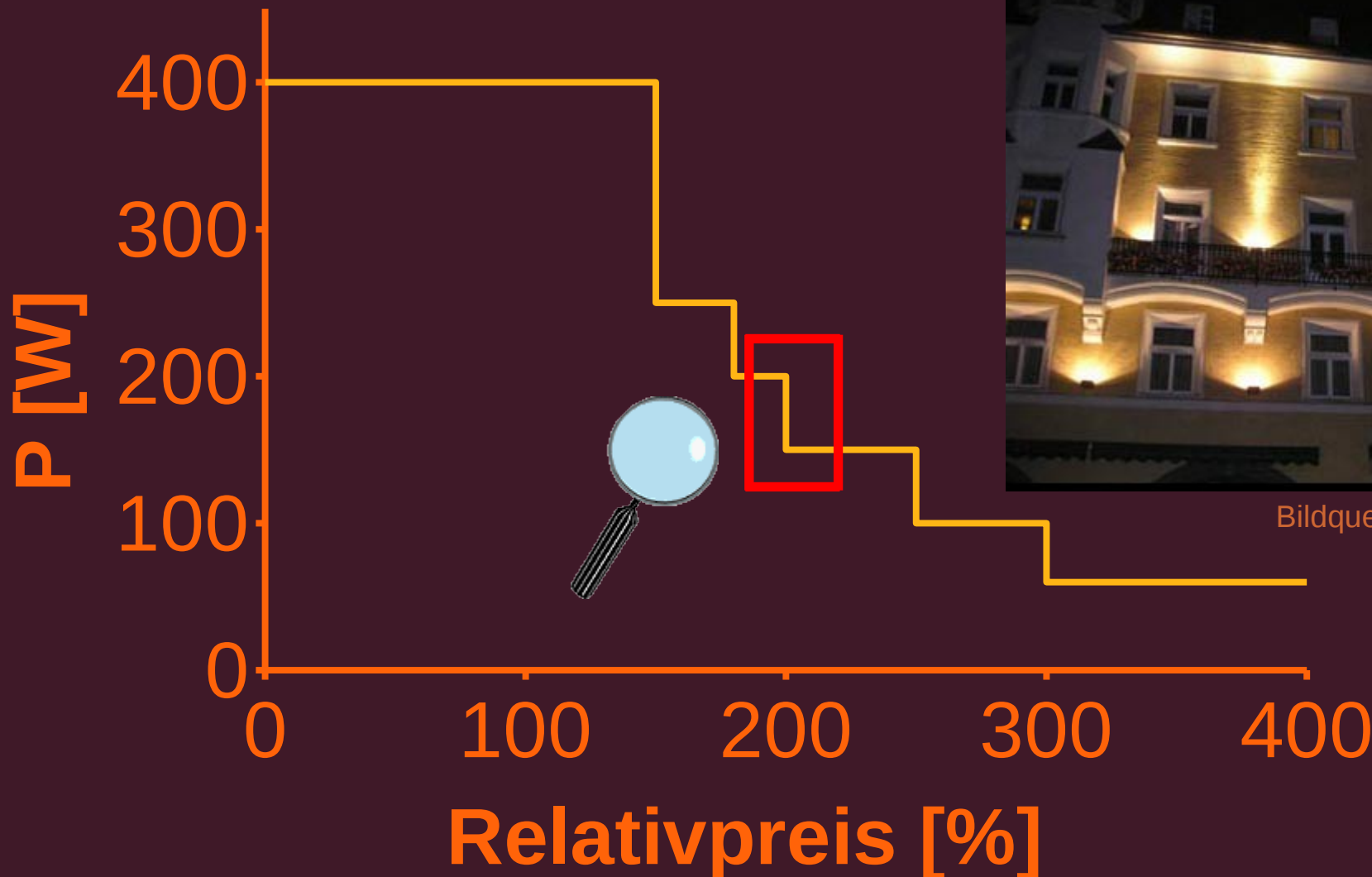


Der Abrechnungswert verlässt nie die Soll-Schwankungsbreite.

Normalfall: Steuerungswert und Abrechnungswert verändern sich gemeinsam.

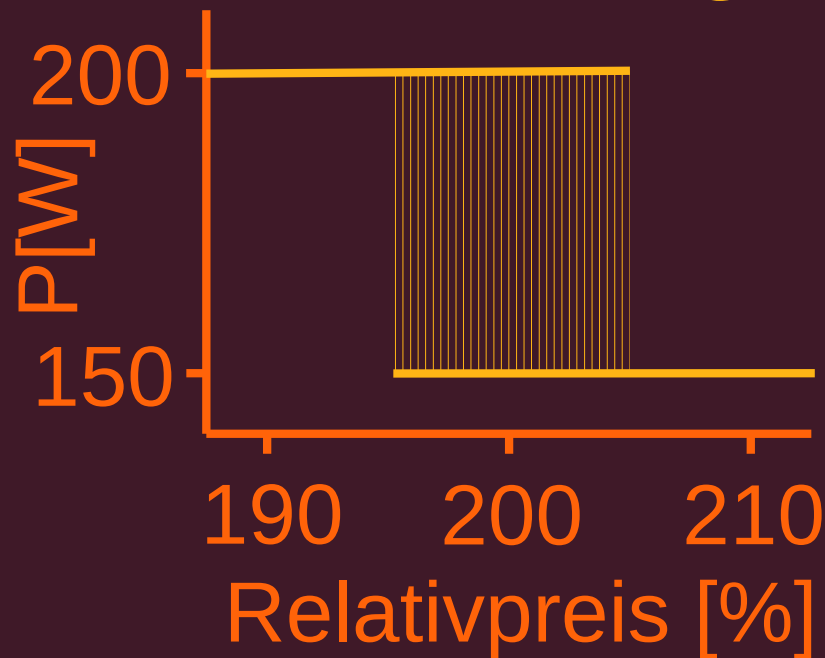
Störungsfall: Steuerungswert entfernt sich vom Abrechnungswert.

# Zufallsvariation und zufällige Verzögerung (1)

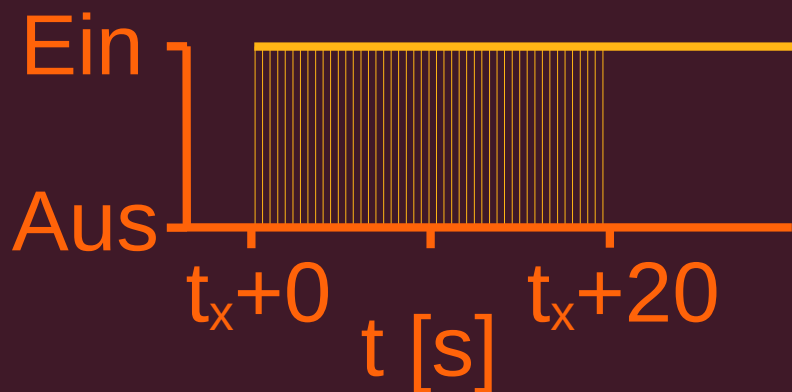


Bildquelle: [www.tekkto.com](http://www.tekkto.com)

# Zufallsvariation und zufällige Verzögerung (2)



Relativpreis-Schaltschwellen von Verbrauchern haben immer eine Zufalls-Variation.



Bei Erreichen einer Relativpreis-abhängigen Schaltbedingung wird immer eine Zufallsverzögerung angewendet.

# Vorbeugung von Störungen

- Alle steuerbaren Erzeugungsanlagen – auch die normalerweise nicht Relativpreis-gesteuerten – müssen bei Relativpreisen oberhalb der Soll-Schwankungsbreite ihre Leistung in Abhängigkeit vom Relativpreis steigern.
- Steuerbare und fluktuierende Erzeugungsanlagen dürfen nur bei Relativpreisen oberhalb von 0 % Leistung in Netz liefern.  
Einzigste Ausnahme: An der Primärregelung beteiligte Anlagen müssen immer Leistung liefern.



# Störungsmanagement

# Versorgungssicherheit versus Komfort-Beeinträchtigung

Alle Geräte und Anlagen reagieren von selbst auf Relativpreis-Steuerungswerte im Störungsbereich.

Das Relativpreis-System ist praktisch nicht an die Grenze zu bringen.

*Ob (neben der fluktuierenden) die steuerbare Erzeugung ausreichend bemessen ist, orientiert sich nicht mehr am Überlast-Risiko, sondern an der gering zu haltenden Wahrscheinlichkeit unzumutbarer Funktionsbeeinträchtigungen auf Verbrauchsseite.*



# Bereiche des Störungsmanagements

- Überlast-Störungen (Relativpreis-Steuerungswerte  $> 400\%$ ): abgestufte automatische Reaktionen aller Arten von Geräten.
- Unterlast- (Überfrequenz-) Störungen mit Relativpreis-Steuerungswerten  $< 0\%$ : abgestufte automatische Reaktionen z.B. von Beleuchtungsanlagen (Abrechnungswert =  $0\%$ ).
- Bei regionalen Störungen (drohende Abschaltung überlasteter Hoch-/Höchstspannungsleitungen) werden regional abweichende Relativpreis-Steuerungswerte ausgegeben.

# Automatische Abschaltung von Hausanschlüssen

- Realisierung: integriert in das Smart Meter.
- sinnvoll für Überlast-Störungen.
- dort vorzusehen, wo noch leistungsstarke Geräte ohne Relativpreis-Steuerung betrieben werden.
- Automatische Wiederkehr nach Abschaltung starker Verbraucher.

Hierdurch neue Perspektiven für Länder mit (heutzutage) häufig unterbrochener Versorgung:

- Die gesamte Verbrauchsseite regelt auch extreme Mangelsituationen aus.
- Lastabwürfe finden nicht mehr statt.

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Alle Informationen und pdf-Texte sind kostenlos verfügbar  
auf der Seite

[http://www.staff.uni-marburg.de/~schittek/buch\\_strom.html](http://www.staff.uni-marburg.de/~schittek/buch_strom.html)

Der Suchbegriff „Dynamischer Relativpreis“ in einer  
Suchmaschine führt auch zum Ziel.