

# DIE „RICHTIGE“ PREISREGEL FÜR AUKTIONEN – EINE THEORETISCHE UND EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG (INTER-)NATIONALER REGELLEISTUNGSMÄRKTE

Fabian OCKER\*, Matej BELICA\*, Karl-Martin EHRHART

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), D-76137 Karlsruhe, Neuer Zirkel 3,  
Tel.: +49 721 608 43383, fabian.ocker@kit.edu, belica@kit.edu, ehrhart@kit.edu,  
<http://games.econ.kit.edu>

**Kurzfassung:** Wir diskutieren anhand einer theoretischen Analyse des deutschen Sekundärregelleistungsmarktes (SRL-Marktes) die Auswirkungen der beiden Preisregeln Einheitspreis- und Gebotspreisverfahren auf das Bietverhalten der Anbieter. Die Analyse zeigt, dass Bieter unter keinen der beiden Preisregeln Anreize haben, mit ihren Geboten ihre wahren Kosten zu offenbaren. Bei der Verwendung des Einheitspreisverfahrens besteht zudem ein erhöhtes Risiko von strategischem Bieterverhalten. Zudem zeigen wir mithilfe einer empirischen Analyse europäischer Regelleistungsmärkte, dass keine vorherrschende Ausgestaltung hinsichtlich der Wahl der Preisregel existiert.

**Keywords:** Auktionen in Energiemärkten, Marktdesign, Preisregel, Regelleistung

## 1 Einleitung

Regelleistung stellt die Einhaltung einer konstanten Stromnetzfrequenz sicher und ermöglicht somit den sicheren Betrieb von elektrischen Geräten. Die Beschaffung von Regelleistung wird in Deutschland im Rahmen einer öffentlichen Auktion durchgeführt. Bieter, d.h. im Vorfeld präqualifizierte Anlagenbetreiber, können im Falle des Sekundärregelleistungsmarktes (SRL-Markt) sowohl für positive (falls zu wenig Energie ins Netz eingespeist wird) als auch für negative (falls zu viel Energie ins Netz eingespeist wird) SRL ein oder mehrere Gebote abgeben. Das Gebot eines Bieters besteht aus drei Komponenten: der Angebotsleistung [MW], dem Leistungspreis-Gebot (LP-Gebot) [€/MW] und dem Arbeitspreis-Gebot (AP-Gebot) [€/MWh]. Für die Vorhaltung von SRL fallen Vorhaltekosten an, welche über das LP-Gebot kompensiert werden. Bei der tatsächlichen Bereitstellung von Regelarbeit treten Abrufkosten auf, welche über das AP-Gebot kompensiert werden. Die Berechnung der beiden Kostenkomponenten hängt dabei einerseits davon ab, ob positive oder negative SRL bereitgestellt werden soll, und andererseits, ob ein Anlagenbetreiber seine Energie zu einem kostendeckenden Marktpreis verkaufen kann oder nicht (vgl. Ocker, Ehrhart und Ott, 2015). Die Zuschlagsregel berücksichtigt im aktuellen Marktdesign lediglich das LP-Gebot, d.h. die Bieter mit den niedrigsten LP-Geboten erhalten einen Zuschlag bis die Nachfrage nach SRL gedeckt ist. Alle bezuschlagten Bieter stellen Regelleistung und bei Abruf zusätzlich vergütete Regelarbeit bereit. Da die Kosten für den Abruf von Regelarbeit so gering wie möglich gehalten werden sollen, werden zunächst die Bieter abgerufen, welche die niedrigsten AP-Gebote abgegeben haben. Die Aktivierungsstrategie ist somit die einer aufsteigenden Merit-Order, wobei eine vordere Positionierung die Wahrscheinlichkeit für den Regelarbeitsabruf steigen lässt. Da im deutschen SRL-Markt sowohl für den Leistungs- als auch für den Arbeitspreis ein Gebot abgegeben wird, müssen auch für beide Gebote

Preisregeln festgelegt werden. Im aktuellen Marktdesign wird für beide Gebote das Gebotspreisverfahren verwendet, d.h. im Zuschlagsfall entspricht der zu vergütende Preis dem abgegeben Gebot.

In der Literatur wird die Wahl der Preisregel im Rahmen der Ausgestaltung einer Auktion kontrovers diskutiert, da diese entscheidende Auswirkungen auf das Verhalten der Bieter hat. Zum einen gibt es Befürworter für die Einheitspreisregel (Uniform Pricing), nach welcher allen erfolgreichen Bietern der gleiche „Einheitspreis“ gezahlt wird (vgl. Kahn et. al, 2001 und Milgrom und Weber, 1982). Zum anderen gibt es Unterstützer der Gebotspreisregel (Pay-as-bid), bei welcher der Preis, den ein erfolgreicher Bieter erhält, mit dem Gebot des Bieters übereinstimmt (vgl. Wilson, 1979 und Klemperer, 2002). Diese kontroverse Diskussion setzt sich in Energiemärkten fort (vgl. Bushnell und Oren, 1994; Chao und Wilson, 2002 und Müsgens, Ockenfels und Peek, 2014). Im aktuellen Gesetzesentwurf des deutschen Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) zur „Weiterentwicklung des Strommarktes“ (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015) wird vorgeschlagen, zukünftig Sekundärregelleistung als auch erbrachte Sekundärregelarbeit nach dem Einheitspreisverfahren zu vergüten, da „bei einem Einheitspreisverfahren (...) die Marktteilnehmer Gebote in Höhe ihrer Grenzkosten [abgeben]. (...) Durch ein Einheitspreisverfahren könnten sich einfachere Gebote und damit effizientere Marktergebnisse einstellen.“ Diese Argumentation wird im vorliegenden Papier auf Grundlage von entscheidungstheoretischen Bieterkalkülen für den SRL-Markt untersucht. Zudem werden europäische Märkte empirisch untersucht, unter anderem hinsichtlich der verwendeten Preis- und Zuschlagsregel.

## 2 Theoretische Analyse verschiedener SRL-Marktausgestaltungen

Im Folgenden werden anhand des entscheidungstheoretischen Bieterkalküls eines SRL-Anbieters die verschiedenen Anreize für die Wahl des Leistungs- und Arbeitspreisgebotes in einer einmaligen Auktion aufgezeigt. Für eine spieltheoretische Betrachtung des SRL-Marktes sei an dieser Stelle auf Belica, Ehrhart und Ocker (2016) verwiesen. Eine Änderung der Zuschlagsregel wird nicht untersucht, sodass lediglich die Höhe des LP-Gebots über den Zuschlag entscheidet. Durch die Kombination von Einheits- und Gebotspreisverfahren für sowohl LP- als auch AP-Seite ergeben sich vier verschiedene Ausgestaltungsmöglichkeiten:

- Variante 1: Aktuelles Marktdesign (Gebotspreisverfahren für LP und AP),
- Variante 2: Einheitspreis für LP und Gebotspreisverfahren für AP,
- Variante 3: Gebotspreisverfahren für LP und Einheitspreisverfahren für AP und
- Variante 4: Einheitspreisverfahren für LP und AP.

Da im aktuellen Gesetzesentwurf des deutschen Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) zur „Weiterentwicklung des Strommarktes insbesondere eine Änderung der Preisregel für die Erbringung von Regularbeit vorgeschlagen wird, werden zunächst die beiden Varianten mit einer diskriminierenden Bepreisung von Regularbeit vorgestellt, und anschließend die beiden Varianten mit einheitlicher Bepreisung diskutiert.

## 2.1 Ein entscheidungstheoretisches Modell für den deutschen SRL-Markt

Das hier vorgestellte Bieterkalkül ist eine Erweiterung des Gewinnmaximierungskalküls von Bushnell und Oren (1994) und wurde für Variante 1 bereits in Ocker, Ehrhart und Ott (2015) präsentiert. Es ist sowohl für den positiven als auch für den negativen SRL-Markt anwendbar, wobei die Berechnung der Kostenkomponenten unterschieden werden muss (vgl. Ocker, Ehrhart und Ott, 2015). Falls das LP-Gebot eines Bieters bezuschlagt wurde, erzielt dieser sowohl Gewinne mit dem LP-Gebot  $b$  als auch mit dem AP-Gebot  $p$ . Im Zuschlagsfall besteht somit der Gewinn aus der Teilnahme an der SRL-Auktion aus diesen beiden Komponenten:  $\pi_{SRL}(b,p) = \pi_{LP}(b) + \pi_{AP}(p)$ . Ein Bieter ist bei der Abgabe seines LP-Gebotes im Unklaren, ob er mit diesem LP-Gebot bezuschlagt wird oder nicht. Demnach müssen die Erwartungen an den Zuschlag für das abgegebene LP-Gebot im Bieterkalkül berücksichtigt werden. Dies wird mithilfe der sogenannten „Zuschlagswahrscheinlichkeit“  $G(b)$  modelliert, welche die Einschätzung eines Bieters angibt mit dem LP-Gebot  $b$  bezuschlagt zu werden. Somit entspricht  $G(b)$  gerade der subjektiven Wahrscheinlichkeit unterhalb des höchsten bezuschlagten LP-Gebotes zu liegen. Bezeichnet man die Wahrscheinlichkeitsverteilung des höchsten bezuschlagten LP-Gebotes mit  $F(b)$  und deren korrespondierende Dichte mit  $f(b)$ , folgt der Zusammenhang  $G(b)=1-F(b)$ . Das mithilfe der beiden Gebotsparameter zu maximierende Bieterkalkül ergibt sich somit zu:

$$\max_{b,p} E[\pi_{SRL}(b,p)] = G(b) \cdot [\pi_{LP}(b) + \pi_{AP}(p)].$$

## 2.2 Diskriminierende Bepreisung von Regularbeit

Zunächst werden die möglichen Ausgestaltungen des deutschen SRL-Marktes diskutiert, in denen die abgerufene Regularbeit über das Gebotspreisverfahren bepreist wird, darunter auch das aktuelle Marktdesign.

### 2.2.1 Variante 1: Aktuelles Marktdesign

Das entscheidungstheoretische Bieterkalkül eines Anbieters im aktuellen Marktdesign (Gebotspreisverfahren für LP und AP) lautet wie folgt:

$$\max_{b,p} E[\pi_{SRL}(b,p)] = G(b)[(b-c) \cdot q + (p-k) \cdot d \cdot q \cdot n(x(p))]$$

Die Gewinne aus dem Leistungspreis für die Angebotsleistung  $q$  setzen sich aus der Differenz des bezuschlagten LP-Gebotes und den Vorhaltekosten  $c$  zusammen. Da die Gewinne aus dem Arbeitspreis von dem ex-ante unbekanntem Abruf von Regularbeit abhängen, müssen diese Gewinne als erwartete Gewinne aufgefasst werden. Diese Tatsache wird im vorliegenden Modell über die sogenannte „Abrufwahrscheinlichkeit“  $n(x(p))$  berücksichtigt, welche die subjektive Einschätzung eines Bieters bezüglich seines Abrufanteils mit einem Gebot in Höhe von  $p$  in der jeweiligen Zeitscheibe (Haupttarif mit  $d=60$  Stunden, Nebentarif mit  $d=108$  Stunden) widerspiegelt. Hierbei hängt die Abrufwahrscheinlichkeit von der Positionierung in der Merit-Order der Arbeitspreise  $x(p)$  ab: mit steigender Position in der Merit-Order sinkt die Wahrscheinlichkeit Regularbeit bereit zu stellen. Diese Position wiederum wird von dem abgegebenen AP-Gebot  $p$  determiniert, wobei mit steigendem AP-Gebot die Position in der Merit-Order der Arbeitspreise steigt. Ein Bieter ordnet also jeder möglichen Position in der Merit-Order eine Abrufwahrscheinlichkeit zu. Die erwarteten Gewinne aus dem Arbeitspreis für die Angebotsleistung ergeben sich somit aus

der Differenz des AP-Gebotes und der Abrufkosten  $k$ , wobei diese Gewinne lediglich bei Abruf von Regelarbeit realisiert werden.

Die daraus ableitbaren Optimalitätsbedingungen erster Ordnung für die Gebote lauten:

$$b^* = c - (p^* - k) \cdot d \cdot n(x(p^*)) + \frac{G(b^*)}{f(b^*)},$$

$$p^* = k - \frac{n(x(p^*))}{n'(x(p^*)) \cdot x'(p^*)}.$$

Den Ausgangspunkt für die Berechnung des optimalen LP-Gebotes  $b^*$  bilden die Vorhaltekosten. Von diesen Kosten werden die erwarteten Gewinne aus dem Arbeitspreis pro MW abgezogen. Somit besteht ein Einfluss des AP-Gebotes auf das LP-Gebot: bei der Kalkulation des optimalen LP-Gebotes werden bereits die erwarteten Gewinne aus dem Arbeitspreis miteinbezogen. Dabei fällt das LP-Gebot umso niedriger aus, je höher die erwarteten Gewinne aus dem Arbeitspreis. Dies ist intuitiv, da für den Zuschlag eines Gebotes lediglich das LP-Gebot berücksichtigt wird und durch die Einbeziehung der erwarteten Gewinne aus dem Arbeitspreis die Zuschlagswahrscheinlichkeit für das LP-Gebot erhöht wird. Der Bruch  $G(b^*)/f(b^*)$  ist insgesamt positiv und wird auf die Vorhaltekosten addiert. Dieser Aufschlag, auch „bid-shading“ genannt, wird durch die eingesetzte Preisregel induziert und korrespondiert zum Abschlag auf ein Gebot in Verkaufsauktionen. Die absolute Höhe des Aufschlags ist monoton fallend in den Vorhaltekosten, sodass ein Bieter, der sich im Vergleich zu seinem Wettbewerb als stark erachtet, einen höheren Aufschlag wählen wird, als ein Bieter, der sich eher schwach einschätzt.

Die Basis für die Berechnung des optimalen AP-Gebotes  $p^*$  stellen die Abrufkosten dar. Der Term  $n(x(p^*))/[n'(x(p^*)) \cdot x'(p^*)]$  ist insgesamt negativ, da die Ableitung der Abrufwahrscheinlichkeit negativ ist. Somit wird dieser Term auf die Abrufkosten addiert und wird ebenfalls durch das Gebotspreisverfahren induziert. Die absolute Höhe des Aufschlags ist monoton fallend in den Abrufkosten des Bieters, sodass ein Bieter, der sich im Vergleich zu seinem Wettbewerb als stark erachtet, einen höheren Aufschlag wählen wird, als ein Bieter, der sich eher schwach einschätzt.

Es kann festgehalten werden, dass Bieter unter dem aktuellen Marktdesign keinen Anreiz haben, weder ihre Vorhalte- noch ihre Abrufkosten wahrheitsgemäß zu offenbaren. Vielmehr sollten die Bieter unter dem Gebotspreisverfahren ihre Gebote übertreiben, um im Zuschlagsfall Gewinne zu erwirtschaften. Weiterhin zeigt die theoretische Analyse, dass falls von einer Monotonie in sowohl dem LP- als auch dem AP-Gebot bzgl. den Kosten ausgegangen wird, ein effizientes Ergebnis garantiert werden kann: Bieter mit höheren Kosten werden dann auch höhere Gebote abgeben.

## 2.2.2 Variante 2: Einheitspreisverfahren (LP) und Gebotspreisverfahren (AP)

Das entscheidungstheoretische Bieterkalkül eines Anbieters im Marktdesign mit Einheitspreisverfahren für LP-Gebote und Gebotspreisverfahren für AP-Gebote lautet:

$$\max_{b,p} E[\pi_{SRL}(b,p)] = \int_b^{\infty} [(s - c) \cdot q + (p - k) \cdot d \cdot q \cdot n(x(p))] f(s) d(s).$$

Da in dieser Variante ein Einheitspreisverfahren für die LP-Gebote verwendet wird, befindet sich ein Bieter im Unklaren über den letztendlich gezahlten Einheitspreis, da dieser entweder vom letzten noch bezuschlagten oder ersten nicht mehr bezuschlagten LP-Gebot determiniert wird. Somit muss ein Bieter sowohl seine Erwartungen an die Zuschlagswahrscheinlichkeit als auch an den Einheitspreis in das Bieterkalkül integrieren. Dies wird mithilfe der Dichtefunktion  $f(s)$  modelliert: diese ordnet jedem möglichen LP-Gebot, welches im Falle des Zuschlags relevant für die Bestimmung des Einheitspreises sein kann, eine Wahrscheinlichkeitsdichte zu.

Da für das AP-Gebot weiterhin das Gebotspreisverfahren verwendet wird, ist keine Änderung des Bieterkalküls hinsichtlich des AP-Gebotes zu verzeichnen. Die ableitbaren Optimalitätsbedingungen erster Ordnung für die Gebote nach Variante 2 lauten:

$$b^* = c - (p^* - k) \cdot d \cdot n(x(p^*)),$$
$$p^* = k - \frac{n(x(p^*))}{n'(x(p^*)) \cdot x'(p^*)}.$$

Es ist ersichtlich, dass die Optimalitätsbedingung für das LP-Gebot die Vorhaltekosten und die erwarteten Gewinne aus dem Arbeitspreis pro MW berücksichtigt. Im Vergleich zur Optimalitätsbedingung aus Variante 1 entfällt damit lediglich der Aufschlag auf die Vorhaltekosten, welcher durch das Gebotspreisverfahren induziert wurde. Die Optimalitätsbedingung für das AP-Gebot verändert sich im Vergleich zu Variante 1 hingegen nicht.

Somit kann festgehalten werden, dass auch mit der Verwendung des Gebotspreisverfahrens für die LP-Gebote keine wahrheitsgemäße Offenbarung der Vorhaltekosten erreicht werden kann. Dies liegt darin begründet, dass weiterhin die erwarteten Arbeitspreisgewinne in das LP-Gebot integriert werden, da dadurch die Zuschlagswahrscheinlichkeit für das LP-Gebot erhöht werden kann. Falls von einer Monotonie in den Kosten für beide Gebote ausgegangen wird, ist ein effizientes Auktionsergebnis garantiert.

### 2.3 Einheitliche Bepreisung von Regularität

Im Folgenden wird auf die beiden Varianten mit einheitlicher Bepreisung von Regularität eingegangen. Sowohl in Müsgens, Ockenfels und Peek (2014) als auch im aktuellen Gesetzesentwurf des BMWi zur „Weiterentwicklung des Strommarktes“ wird vorgeschlagen, erbrachte Regularität durch das Einheitspreisverfahren zu vergüten, da dadurch Bieter einen Anreiz erhalten sollen, AP-Gebote in Höhe ihrer wahren Abrufkosten abzugeben. Bevor dieses jedoch theoretisch untersucht wird, soll an dieser Stelle auf die Wahl des einheitspreisbestimmenden AP-Gebotes bei der Umstellung auf das Gebotspreisverfahren eingegangen werden.

Zunächst muss im Vorfeld festgelegt werden, für welchen Zeitraum ein Einheitspreis festgelegt wird: denkbar wäre ein Einheitspreis für die komplette Zeitscheibendauer, für einen Tag, für eine Stunde oder für alle 15 Minuten. Dabei bleibt zu beachten, dass mit der Verkürzung des Zeitraums eine Erhöhung der Anzahl an zu bestimmenden Einheitspreisen einhergeht. Dies hat zur Folge, dass Bieter verschiedene Einheitspreise für die Erbringung der gleichen Regularität erhalten können. Dies könnte bei den Bietern für Verunsicherung sorgen, da diese bei der Kalkulation nicht mit einem „festen“ Arbeitspreis rechnen können.

Falls für die komplette Zeitscheibendauer ein Einheitspreis festgelegt wird, gilt zu klären, an welchem Arbeitspreisgebot sich dieser orientiert, bspw. am höchsten Arbeitspreisgebot der Merit-Order. Dies hat zur Konsequenz, dass ein AP-Gebot im hinteren Bereich der Merit-Order auch den Arbeitspreis für die vorderen MW-Positionen festlegt, obwohl diese deutlich häufiger für die Erbringung von Regelarbeit eingesetzt werden. Dies induziert jedoch ungewollte strategische Anreize, beispielsweise für Bieter mit großen Regelleistungskapazitäten. Bieter, welche über eine Angebotsleistung von mehr als 10 MW verfügen und somit mindestens zwei getrennte Gebote abgeben können (im aktuellen Marktdesign ist eine Mindestleistung von 5 MW gefordert), könnten durch die Abgabe eines „strategischen“ Gebotes mit dem Leistungspreis von null und einem hohen Arbeitspreis den zu zahlenden Arbeitspreis der anderen Gebote direkt beeinflussen, da das „strategische“ Gebot mit Sicherheit bezuschlagt und somit in die Merit-Order der Arbeitspreise integriert würde. Somit könnte der Bieter für alle bezuschlagten Gebote einen hohen Arbeitspreis sichern, da sich der Einheitspreis an den AP-Geboten im hinteren Teil der Merit-Order orientiert.

Zudem sind bereits im aktuellen Marktdesign extrem hohe AP-Gebote am Ende der Merit-Order zu dokumentieren. Dies rührt daher, dass einige Anbieter sich bewusst am hinteren Ende der Merit-Order positionieren, um somit selten tatsächlich Regelarbeit erbringen zu müssen. Eine Änderung dieses strategischen Verhaltens ist beim Wechsel auf das Einheitspreisverfahren nicht zu erwarten und könnte somit zu extrem hohen und ökonomisch nicht sinnvollen Abrufkosten führen.

### 2.3.1 Variante 3: Gebotspreisverfahren (LP) und Einheitspreisverfahren (AP)

Das entscheidungstheoretische Bieterkalkül eines Anbieters im Marktdesign mit Gebotspreisverfahren für LP-Gebote und Einheitspreisverfahren für AP-Gebote lautet:

$$\max_{b,p} E[\pi_{SRL}(b,p)] = G(b) [(b-c) \cdot q + \int_p^{\infty} (r-k) \cdot d \cdot q \cdot n(x(p|r)) h(r) dr].$$

Analog zu dem ex-ante unbekanntem Einheitspreis für das LP-Gebot aus Variante 2 (vgl. Kapitel 2.2.2), hat ein Bieter in dieser Variante Erwartungen an den resultierenden Einheitspreis für das AP-Gebot. Diese werden mithilfe der Dichtefunktion  $h(r)$  in das Bieterkalkül integriert, welche die Verteilung der AP-Gebote unter der Annahme reflektiert, dass der Bieter mit dem LP-Preis einen Zuschlag erhält. Diese Erwartungen an den Einheitspreis müssen zusätzlich in die zu erwartende Abrufwahrscheinlichkeit integriert werden. Die ableitbaren Optimalitätsbedingungen erster Ordnung für die Gebote lauten:

$$b^* = c - (p^* - k) \cdot d \cdot n(x(p^*)) + \frac{G(b^*)}{f(b^*)},$$
$$\int_p^{\infty} (r-k) \cdot n'(x(p|r)) \cdot x'(p|r) \cdot h(r) dr = 0 \Rightarrow p^* < k.$$

Die Anreize bei der Abgabe des LP-Gebotes bleiben unverändert (siehe Kapitel 2.2.1). Bieter subtrahieren von ihren Vorhaltekosten ihre erwarteten Gewinne aus dem Abruf und versehen diese mit einem Gebotsaufschlag. Die Optimalitätsbedingung für das AP-Gebot hingegen impliziert, dass Bieter unter dem Einheitspreisverfahren unterhalb ihrer wahren Abrufkosten bieten sollten.<sup>1</sup> Dies rührt daher, dass die Güter in der Merit-Order der

---

<sup>1</sup> Eine explizite Bietfunktion kann ohne weitere Annahmen nicht angegeben werden.

Arbeitspreise nicht homogen sind, sondern anhand ihrer Merit-Order Position geordnet sind: ein Bieter, der innerhalb der Merit-Order weiter vorne eingereicht wurde, erhält die Vergütung für Regularbeit länger als ein Bieter mit einer höheren Position in der Merit-Order. Da zusätzlich die Ermittlung des Einheitspreises von einem AP-Gebot im hinteren Bereich der Merit-Order determiniert wird (abhängig vom gewählten Zeitraum), wird dieser Einheitspreis an alle zur Regelung benötigten MW-Positionen bezahlt. In Kombination hat dies zur Konsequenz, dass rationale Bieter in ihrem AP-Gebot ihre wahren Kosten für die Erbringung von Regularbeit untertreiben, um an eine bessere Position innerhalb der Merit-Order zu gelangen.<sup>2</sup> Dieses theoretische Resultat kann aus verschiedenen Gründen als nicht wünschenswert erachtet werden: zum einen birgt das Unterbieten für die Bieter das Risiko eines Verlustes, falls der Einheitspreis unterhalb ihrer Abrufkosten liegt, zum anderen erscheint es fragwürdig, ob Unternehmen auch tatsächlich so bieten würden. Letzteres hätte zur Konsequenz, dass die Umstellung auf das Einheitspreisverfahren nicht absehbares Bietverhalten nach sich ziehen könnte.

Somit führt auch das Einheitspreisverfahren für den Arbeitspreis zu einem effizienten Ergebnis, falls von einer Monotonie der Kosten in den beiden Geboten angenommen wird. Jedoch induziert dieses Verfahren für den Arbeitspreis zusätzlich ungewollte strategische Anreize, wie bspw. die (implizite) Kollusion.

### 2.3.2 Variante 4: Einheitspreisverfahren (LP und AP)

Das entscheidungstheoretische Bieterkalkül eines Anbieters im Marktdesign mit Einheitspreisverfahren für sowohl die LP- als auch die AP-Gebote lautet:

$$\max_{b,p} E[\pi_{SRL}(b,p)] = \int_b^{\infty} [(s-c) \cdot q + \int_p^{\infty} (r-k) \cdot d \cdot q \cdot n(x(p|r))h(r)dr] f(s)ds.$$

Die ableitbaren Optimalitätsbedingungen erster Ordnung für die Gebote nach Variante 4 lauten:

$$b^* = c - (p^* - k) \cdot d \cdot n(x(p^*)),$$
$$\int_p^{\infty} (r-k) \cdot n'(x(p|r)) \cdot x'(p|r) \cdot h(r)dr = 0 \Rightarrow p^* < k.$$

Die Anreize, welche die Kombination des Einheitspreisverfahrens für sowohl Arbeit als auch Leistung induziert, sind analog zu den Ergebnissen aus Variante 2 und 3 (vgl. Kapitel 2.2.2 und Kapitel 2.3.1). Rationale Bieter sollten sowohl ihre Vorhalte- als auch ihre Abrufkosten untertreiben. Falls eine Monotonie in den Kosten für beide Gebote angenommen wird, ist jedoch ein effizientes Auktionsergebnis garantiert.

---

<sup>2</sup> Auch eine Änderung der Aktivierungsstrategie hin zur Parallelaktivierung (Pro-ratio Aktivierung), bei welcher im Abruffall sämtliche für die Vorhaltung bezuschlagten Bieter gleichermaßen aktiviert werden, schafft keine Abhilfe dieser Problematik. Unter der aktuellen Zuschlagsregel ist eine Parallelaktivierung weder unter dem Gebots- noch unter Einheitspreisverfahren sinnvoll, da Bieter hierbei Anreize haben, LP-Gebote in der Nähe von Null und im Gegenzug beliebig hohe AP-Gebote abzugeben. Schließlich wäre unabhängig von der Höhe ihres Gebotes ein sicherer Abruf gewährleistet. Ein eventueller Umstieg auf Parallelaktivierung von Regularbeit sollte somit (wenn überhaupt) zwingend mit einer grundlegenden Änderung der Preisbestimmung aus dem SRL-Markt einhergehen (bspw. Orientierung an exogen gegebenen Preisen wie dem Intraday oder Day-Ahead Marktpreis).

### 3 Empirische Untersuchung europäischer Regelleistungsmärkte

Nachdem im vorangegangenen Kapitel mögliche Ausgestaltungsmöglichkeiten des deutschen SRL-Marktes theoretisch diskutiert wurden, wird im folgenden Abschnitt auf eine empirische Untersuchung europäischer Regelleistungsmärkte eingegangen. Diese Untersuchung umfasst alle 24 Länder, welche Regelleistung mithilfe von öffentlichen Auktionen beschaffen und wird in einer Übersichtskarte in **Abbildung 1** dargestellt.

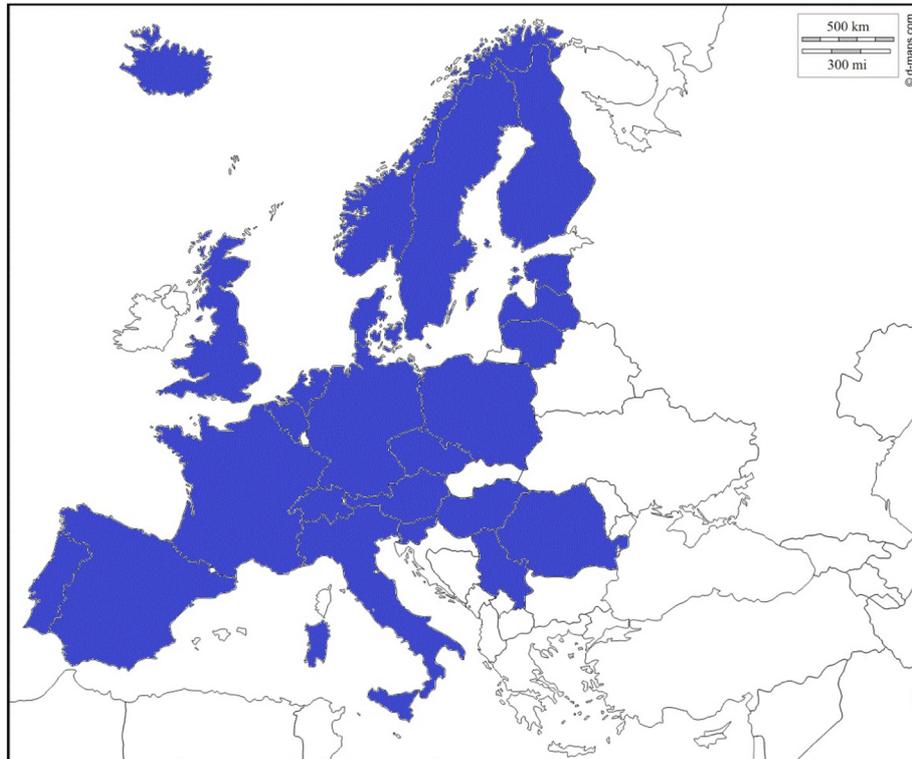


Abbildung 1: Übersicht der 24 untersuchten europäischen Regelleistungsmärkte (eigene Darstellung).

Die „European Network of Transmission System Operators (ENTSO-E)“, welche einen Zusammenschluss europäischer Übertragungsnetzbetreiber darstellt, empfiehlt die Verwendung von drei verschiedenen Regelleistungsarten mit der folgenden englischsprachigen Nomenklatur: der „Frequency Containment Reserve (FCR)“, die „Frequency Restoration Reserve (FRR)“ und die „Replacement Reserve (RR)“ (vgl. ENTSO-E, 2013). Diese drei Regelleistungsarten korrespondieren zu den deutschen, österreichischen und schweizerischen Begriffen der Primär-, Sekundär- und Tertiärregelleistung. Die Einsatzweise der drei verschiedenen Regelleistungsarten ist in **Abbildung 2** abgebildet. Ausgehend von der Abweichung der Netzfrequenz durch einen Störfall wird zunächst die FCR aktiviert, welche die eingetretene Abweichung einschränken soll. Danach wird die FCR von der FRR abgelöst, welche im Regelfall Abweichungen von der Netzfrequenz wieder auf den Nennwert zurückführen kann. Falls dies nicht der Fall ist und der Störfall weiterhin anhält, wird als letzte Möglichkeit der Stabilisierung die RR eingesetzt. Diese prinzipielle Aufteilung der Regelleistung in drei verschiedene Kategorien stellt eine grundsätzliche Bedingung hinsichtlich der europäischen Harmonisierung zur Beschaffung von Regelleistung dar.

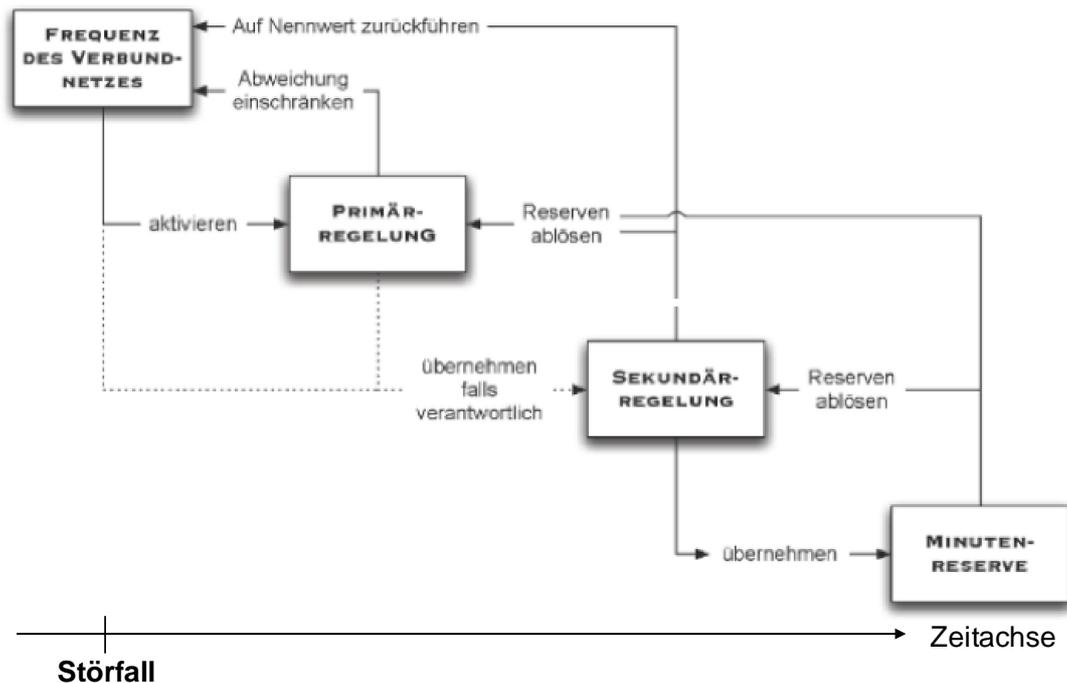


Abbildung 2: Die drei verschiedenen Regelungsarten in Deutschland (eigene Darstellung).

Diese Aufteilung wird aktuell jedoch noch nicht von allen 24 untersuchten Länder eingesetzt, da lediglich 19 Länder diese Dreiteilung verwenden. Innerhalb dieser 19 Ländern unterscheiden sich weiterhin die Einsatzzeitpunkte, die Einsatzdauern und die verwendete Aktivierungsstrategie, welche sowohl manuell als auch automatisch umgesetzt wird. Weiterhin unterscheiden 23 Länder generell zwischen positiver und negativer Regelleistung. So beschaffen beispielsweise die deutschen Übertragungsnetzbetreiber die Primärregelleistung ohne die Unterscheidung zwischen positiver und negativer Regelleistung, verwenden diese Unterscheidung jedoch bei der Beschaffung von Sekundär- und Tertiärregelleistung. Lediglich Italien unterscheidet in keiner der beschafften Regelleistungsarten nach positiver oder negativer Regelleistung.

Hinsichtlich auktionsspezifischer Kriterien zeigt sich, dass die Zuschlagsregel, welche die Gewinner der Auktion bestimmt, entweder die Gesamtkosten für Regelleistung (LP) und -arbeit (AP), lediglich die Kosten für die Regelleistung (LP) oder die minimalen erwarteten Gesamtkosten (mithilfe einer stochastischen Programmierung) berücksichtigt. Dabei kann es in einzelnen Ländern vorkommen, dass neben den abgegeben Geboten auch beispielsweise die verfügbaren Übertragungskapazitäten und weitere Kriterien über den Zuschlag entscheiden. Bezüglich der eingesetzten Preisregel ergibt sich kein einheitliches europäisches Muster. So wird in 10 Ländern das Einheitspreisverfahren und in 12 Ländern das Gebotspreisverfahren vornehmlich eingesetzt. Die restlichen beiden Länder verwenden andere Regeln, wie bspw. die Abgabe nur eines Gebotes für Regelleistung und -arbeit oder setzen Mischungen aus Einheits- und Gebotspreisverfahren ein. Falls ein Einheitspreisverfahren für die Erbringung von Regelarbeit verwendet wird, orientiert sich dieser entweder an einem festgelegten Energiemarktpreis oder an den bezuschlagten AP-Geboten. Zudem ist die Aktivierungsstrategie von Regelarbeit innerhalb der untersuchten Länder unterschiedlich: sowohl das Merit-Order als auch das parallele aktivieren von Regelarbeit

findet derzeit Verwendung. Die Untersuchung zeigt außerdem, dass Länder mit einem hohen Anteil erneuerbaren Energieträgern flexiblere Auktionsdesigns verwenden. Dänemark, welches über einen hohen Anteil von Windenergie verfügt, beschafft alle drei Regelleistungsarten täglich und mit einer maximalen Vorhaltezeit von Regelleistung von vier Stunden. Dieses häufigen Beschaffungszeitpunkte sowie kurze Beschaffungszeitdauern ermöglichen die Teilnahme von Windkraftwerken am dänischen Markt für Tertiärregelleistung. Im Allgemeinen zeigt die Analyse, dass sieben Länder – darunter Portugal und Spanien mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energieträgern – Regelleistung entweder täglich oder sogar stündlich beschaffen, wohingegen weitere sieben Länder – darunter Frankreich und Belgien mit einem hohen Anteil an Atom- und Gaskraftwerken – Regelleistung jährlich, monatlich oder wöchentlich beschaffen.

Es bleibt festzuhalten, dass die Ergebnisse der empirischen Untersuchung eine große Vielzahl an Marktdesigns in Europa offenbart und somit eine baldige Harmonisierung der Märkte nicht abzusehen ist. Nichtsdestotrotz gibt es insbesondere in Nord- und Zentraleuropa einen Trend hin zu gemeinsamen Regelleistungsmärkten. So verfügen beispielsweise die Übertragungsnetzbetreiber aus Österreich, Deutschland, den Niederlanden und der Schweiz seit April 2015 über einen gemeinsamen Primärregelleistungsmarkt, welcher hinsichtlich der nachgefragten Regelleistung der größte seiner Art ist.

#### **4 Zusammenfassung und Ausblick**

Mittels einer entscheidungstheoretischen Analyse zeigen wir, dass Bieter im SRL-Markt unabhängig von der Preisregel ihre erwarteten AP-Gewinne bei der Wahl ihres LP-Gebotes in der Form einbeziehen, dass sie diese von ihren wahren Vorhaltekosten subtrahieren. Bieter „subventionieren“ somit das LP-Gebot, da nur dieses relevant für den Zuschlag eines Gebotes ist. Unter dem Einheitspreisverfahren ist es dann für einen Bieter optimal, die Differenz zwischen seinen Vorhaltekosten und seinen erwarteten AP-Gewinnen zu bieten. Folglich offenbaren Bieter unter dem Einheitspreisverfahren in ihrem LP-Gebot (Variante 2 und 4) nicht ihre wahren Vorhaltekosten. Unter dem Gebotspreisverfahren (Variante 1 und 2) haben die Bieter einen Anreiz, diese Differenz mit ihrem LP-Gebot zu übertreiben. Auch auf der AP-Seite veranlasst das Einheitspreisverfahren (Variante 3 und 4) die Bieter nicht entsprechend ihren wahren Abrufkosten zu bieten, sondern diese zu untertreiben. Dies resultiert aus der unterschiedlichen „Wertigkeit“ der Güter in der Merit-Order der Arbeitspreise. Somit kann festgehalten werden, dass das Ziel des BMWi, einfachere Gebote seitens der Bieter zu induzieren und damit effizientere Marktergebnisse zu erreichen, nicht durch die alleinige Umstellung der Preisregel umgesetzt werden kann. Vielmehr muss zur Erreichung dieser Ziele eine einheitliche Änderung des Vergabemechanismus angestrebt werden, welche insbesondere auch die Zuschlagsregel berücksichtigt.

Hinsichtlich der empirischen Untersuchung europäischer Regelleistungsmärkte bleibt festzuhalten, dass die Ausgestaltung der Märkte enorm divers ist. Insbesondere hinsichtlich der verwendeten Zuschlags- und Preisregel finden sich keine dominanten Ausprägungen. Dieses Resultat unterstreicht die Komplexität dieser Märkte und wird die europäische Harmonisierung, welche durch die ENTSO-E vorangetrieben wird, zu einer anspruchsvollen und langfristigen Aufgabe machen.

## Literatur

- [1] Belica, M., Ehrhart, K.-M., Ocker, F. (2016): *A Theoretical Analysis of the German Secondary Balancing Power Market*, Arbeitspapier.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, BMWi (2015): *Gesetzesentwurf zur Weiterentwicklung des deutschen Strommarktes*, <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Strommarkt-der-Zukunft/strommarkt-2-0.html> [14.01.2015]
- [3] Bushnell, J. B.; Oren, S. S. (1994): *Supplier Cost Revelation in Electric Power Auctions*, *Journal of Regulatory Economics* 6, S. 5-26.
- [4] Chao, H.-P., Wilson, R. (2002): *Multi-Dimensional Procurement Auctions for Power Reserves: Robust Incentive-Compatible Scoring and Settlement Rules*, *Journal of Regulatory Economics* 22, S. 161-183.
- [5] ENTSO-E (2013): *Network Code on Load-Frequency Control and Reserves*, Brüssel, Version vom 28.06.2013.
- [6] Kahn, A. E., Cramton, P. C., Porter, R. H., Tabors, R. D. (2001): *Uniform Pricing or Pay-as-Bid Pricing: A Dilemma for California and Beyond*, *The Electricity Journal* 14, S. 70- 79.
- [7] Klemperer, P. (2002). *What Really Matters in Auction Design*, *Journal of Economic Perspectives* 16, S. 169-190.
- [8] Milgrom, P. R., Weber, R. J. (1982): *A Theory of Auctions and Competitive Bidding*, *Econometrica* 50, S. 1089–1122.
- [9] Müsgens, F., Ockenfels, A., Peek, M. (2014): *Economics and design of balancing power markets in Germany*, *Electrical Power and Energy Systems* 55, S. 392-401.
- [10] Ocker, F., Ehrhart, K.-M., Ott, M. (2015): *An Economic Analysis of the German Secondary Balancing Power Market*, Arbeitspapier.
- [11] Wilson, R. (1979): *Auctions of Shares*, *Quarterly Journal of Economics*, 93, S. 675–689.