Preise und Effizienz im deutschen Sekundärregelleistungsmarkt:

Eine spieltheoretische Betrachtung

Matej Belica Fabian Ocker Karl-Martin Ehrhart

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

belica@kit.edu

2. September 2016

Überblick

1. Forschungsfragen und Methodik
2. Theorie vs. Empirie
   - Positiver Markt
   - Negativer Markt
3. Diskussion
   - Zusammenfassung
   - Ausblick

Zentrale Fragestellungen

Ziele der Beschaffung von SRL in Deutschland

1. Sicherstellen der Netzstabilität.
2. Effizienz.
3. Niedrige, wettbewerblich bestimmte Preise.

Forschungsfragen

1. Wird das deutsche Design den Anfordugen des Marktes gerecht?
2. Ist eine Änderrung der Preisregel von PAB zu UP sinnvoll?

Zentrale Fragestellungen

Ziele der Beschaffung von SRL in Deutschland

1. Sicherstellen der Netzstabilität.
2. Effizienz.
3. Niedrige, wettbewerblich bestimmte Preise.

Forschungsfragen

1. Wird das deutsche Design den Anfordugen des Marktes gerecht?
2. Ist eine Änderrung der Preisregel von PAB zu UP sinnvoll?

Zentrale Fragestellungen

Ziele der Beschaffung von SRL in Deutschland

1. Sicherstellen der Netzstabilität.
2. Effizienz.
3. Niedrige, wettbewerblich bestimmte Preise.

Forschungsfragen

1. Wird das deutsche Design den Anfordugen des Marktes gerecht?
2. Ist eine Änderrung der Preisregel von PAB zu UP sinnvoll?

Methodik

Aktueller Forschungsstand

- Empirische Datenanalyse (Heim und Götz., 2014; Hirth und Ziegenhagen, 2015; Ocker und Ehrhart, 2015).
- Entscheidungstheoretische Modelle (Bushnell und Oren, 1995; Chao und Wilson, 2002; Swider, 2006).
- Gesamtwirtschaftliche Betrachtung (Müsgens et al., 2014).

- Forschungslücke: Keine Berücksichtigung strategischer Interaktion zwischen Bietern.
- Geignetes Werkzeug: Spieltheorie.
- Lösungskonzept: Bayes-Nash-Gleichgewicht, d.h. wechselseitig optimales Verhalten rationaler Bieter.

Methodik

Aktueller Forschungsstand

- Empirische Datenanalyse (Heim und Götz., 2014; Hirth und Ziegenhagen, 2015; Ocker und Ehrhart, 2015).
- Entscheidungstheoretische Modelle (Bushnell und Oren, 1995; Chao und Wilson, 2002; Swider, 2006).
- Gesamtwirtschaftliche Betrachtung (Müsgens et al., 2014).

- Forschungslücke: Keine Berücksichtigung strategischer Interaktion zwischen Bietern.
- Geignetes Werkzeug: Spieltheorie.
- Lösungskonzept: Bayes-Nash-Gleichgewicht, d.h. wechselseitig optimales Verhalten rationaler Bieter.

Theoretische Resultate (positiver Markt)

Resultat 1 (Aktuelles Marktdesign).

Das Gleichgewicht der einmal durchgeführten SRL-Auktion im positiven Marktes besitzt die folgenden Eigenschaften:

1. *Die AP-Gebote steigen und die LP-Gebote sinken in den variablen Kosten der Bieter.*
2. *Die resultierenden Preise sind kompetitiv, insbesondere orientieren sich die AP-Gebote an variablen Kosten.*
3. *Das Marktergebnis ist effizient.*

Empirisch überprüfbare Hypothesen

1. Strikt negativer Zusammenhang zwischen AP- und LP-Geboten.
2. Kompetitve AP-Gebote.

Theoretische Resultate (positiver Markt)

Resultat 1 (Aktuelles Marktdesign).

Das Gleichgewicht der einmal durchgeführten SRL-Auktion im positiven Marktes besitzt die folgenden Eigenschaften:

1. *Die AP-Gebote steigen und die LP-Gebote sinken in den variablen Kosten der Bieter.*
2. *Die resultierenden Preise sind kompetitiv, insbesondere orientieren sich die AP-Gebote an variablen Kosten.*
3. *Das Marktergebnis ist effizient.*

Empirisch überprüfbare Hypothesen

1. Strikt negativer Zusammenhang zwischen AP- und LP-Geboten.
2. Kompetitve AP-Gebote.

Theoretische Resultate (positiver Markt)

Resultat 1 (Aktuelles Marktdesign).

Das Gleichgewicht der einmal durchgeführten SRL-Auktion im positiven Marktes besitzt die folgenden Eigenschaften:

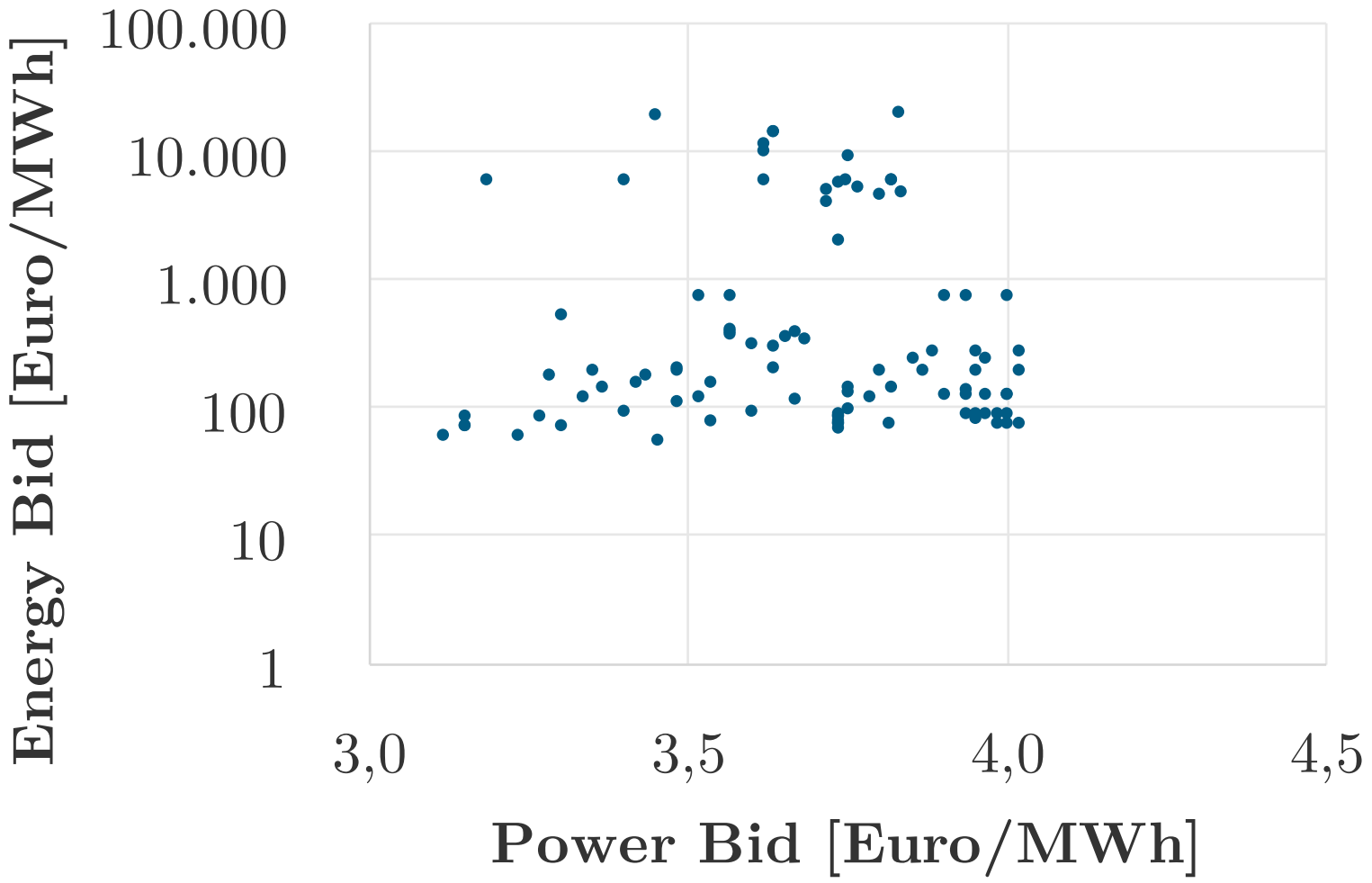
1. *Die AP-Gebote steigen und die LP-Gebote sinken in den variablen Kosten der Bieter.*
2. *Die resultierenden Preise sind kompetitiv, insbesondere orientieren sich die AP-Gebote an variablen Kosten.*
3. *Das Marktergebnis ist effizient.*

Empirisch überprüfbare Hypothesen

1. Strikt negativer Zusammenhang zwischen AP- und LP-Geboten.
2. Kompetitve AP-Gebote.

Empirie: AP- vs. LP-Gebote (positiver Markt)

Daten einer repräsentativen Woche (hier: KW 50 in 2015).



Umstellung auf das Einheitspreisverfahren (UP)

Resultat 2 (Einheitspreisverfahren).

Für die Umstellung der Preisregel für Arbeit und/oder Leistung auf UP gilt:

1. *Die entsprechenden Gebote sinken im Vergleich zu PAB.*
2. *UP induziert nicht wahrheitsgemäßes Bieten. Insbesondere, bei UP für Arbeit unterbieten Bieter ihre variablen Kosten.*
3. *Es besteht Erlösgleichheit, d.h. die erwarteten Beschaffungskosten sowie die erwarteten Renten der Bieter bleiben unverändert.*

Umstellung auf das Einheitspreisverfahren (UP)

Resultat 2 (Einheitspreisverfahren).

Für die Umstellung der Preisregel für Arbeit und/oder Leistung auf UP gilt:

1. *Die entsprechenden Gebote sinken im Vergleich zu PAB.*
2. *UP induziert nicht wahrheitsgemäßes Bieten. Insbesondere, bei UP für Arbeit unterbieten Bieter ihre variablen Kosten.*
3. *Es besteht Erlösgleichheit, d.h. die erwarteten Beschaffungskosten sowie die erwarteten Renten der Bieter bleiben unverändert.*

Umstellung auf das Einheitspreisverfahren (UP)

Resultat 2 (Einheitspreisverfahren).

Für die Umstellung der Preisregel für Arbeit und/oder Leistung auf UP gilt:

1. *Die entsprechenden Gebote sinken im Vergleich zu PAB.*
2. *UP induziert nicht wahrheitsgemäßes Bieten. Insbesondere, bei UP für Arbeit unterbieten Bieter ihre variablen Kosten.*
3. *Es besteht Erlösgleichheit, d.h. die erwarteten Beschaffungskosten sowie die erwarteten Renten der Bieter bleiben unverändert.*

Theoretische Resultate (negativer Markt)

Resultat 3 (Aktuelles Marktdesign).

Das Gleichgewicht der einmal durchgeführten SRL-Auktion im positiven Marktes besitzt die folgenden Eigenschaften:

1. *Die LP-Gebote aller Bieter sind gleich 0.*
2. *Großteil der AP-Gebote ist negativ.*
3. *Das Marktergebnis ist effizient.*

Theoretische Resultate (negativer Markt)

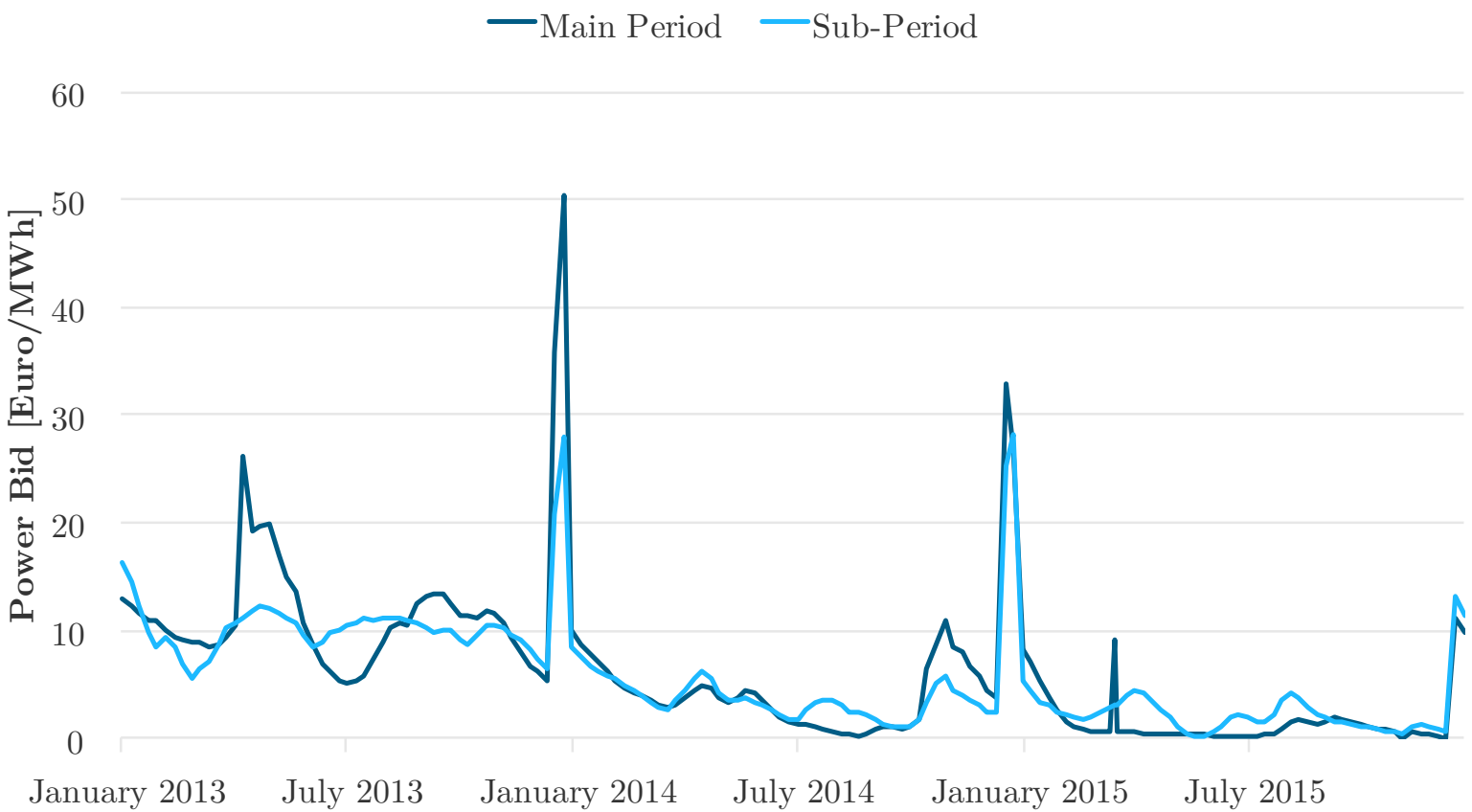
Resultat 3 (Aktuelles Marktdesign).

Das Gleichgewicht der einmal durchgeführten SRL-Auktion im positiven Marktes besitzt die folgenden Eigenschaften:

1. *Die LP-Gebote aller Bieter sind gleich 0.*
2. *Großteil der AP-Gebote ist negativ.*
3. *Das Marktergebnis ist effizient.*

Empirie: LP-Gebote (negativer Markt)

Verläufe der mittleren gewichteten LP-Gebote.



Empirie: Anteil negativer AP-Gebote (negativer Markt)

	Merit-order Position					
	1	50	100	500	1000	1500
Main Period	0.955	0.860	0.771	0.484	0.121	0.000
Sub-Period	0.866	0.694	0.580	0.248	0.032	0.000

Zusammenfassung

Positiver Markt

- Das aktuelle Marktdesign besitzt aus theoretischer Sicht sämtliche wünschenswerten Eigenschaften.
- Eine Umstellung auf UP ändert nichts an diesen Eigenschaften.

Negativer Markt

- Der negative Markt unterscheidet sich fundamental.
- Benötigen wir wirklich einen LP-Preis?

Jedoch, große Diskrepanz zwischen theoretischen Vorhersagen und empirischen Daten. Insbesondere sind absurd hohe AP zu beobachten.

Zusammenfassung

Positiver Markt

- Das aktuelle Marktdesign besitzt aus theoretischer Sicht sämtliche wünschenswerten Eigenschaften.
- Eine Umstellung auf UP ändert nichts an diesen Eigenschaften.

Negativer Markt

- Der negative Markt unterscheidet sich fundamental.
- Benötigen wir wirklich einen LP-Preis?

Jedoch, große Diskrepanz zwischen theoretischen Vorhersagen und empirischen Daten. Insbesondere sind absurd hohe AP zu beobachten.

Zusammenfassung

Positiver Markt

- Das aktuelle Marktdesign besitzt aus theoretischer Sicht sämtliche wünschenswerten Eigenschaften.
- Eine Umstellung auf UP ändert nichts an diesen Eigenschaften.

Negativer Markt

- Der negative Markt unterscheidet sich fundamental.
- Benötigen wir wirklich einen LP-Preis?

Jedoch, große Diskrepanz zwischen theoretischen Vorhersagen und empirischen Daten. Insbesondere sind absurd hohe AP zu beobachten.

Spieltheoretischer Erklärungsansätz

Wöchentliche Wiederholung der Auktion

- Koordination auf höhere Preise im (un)endlich wiederholten Spiel.
- "Folk Theorem" (etwa Benoit und Krishna, 1985).
- Zusätzlich begünstigt durch die Zuschlagsregel, die nur LP-Gebote berücksichtigt.

Spieltheoretischer Erklärungsansätz

Wöchentliche Wiederholung der Auktion

- Koordination auf höhere Preise im (un)endlich wiederholten Spiel.
- "Folk Theorem" (etwa Benoit und Krishna, 1985).
- Zusätzlich begünstigt durch die Zuschlagsregel, die nur LP-Gebote berücksichtigt.

Spieltheoretischer Erklärungsansätz

Wöchentliche Wiederholung der Auktion

- Koordination auf höhere Preise im (un)endlich wiederholten Spiel.
- "Folk Theorem" (etwa Benoit und Krishna, 1985).
- Zusätzlich begünstigt durch die Zuschlagsregel, die nur LP-Gebote berücksichtigt.

Spieltheoretischer Erklärungsansätz

Wöchentliche Wiederholung der Auktion

- Koordination auf höhere Preise im (un)endlich wiederholten Spiel.
- “Folk Theorem” (etwa Benoit und Krishna, 1985).
- Zusätzlich begünstigt durch die Zuschlagsregel, die nur LP-Gebote berücksichtigt.

Ausblick

- Spieltheoretisch sind extrem hohe Preise im SRL-Markt durch die regelmäßige Wiederholung mit konstanter Anbieterseite zu erklären.
- Positive Auswirkungen durch alleinige Umstellung auf UP zu bezweifeln.
- Vielversprechendere Maßnahmen?
  - Identiifikation eiines geeigneteren Beschaffungsmechanismus, insebsondere Zuschlagsregel überdenken.
  - Harmonisierung der europäischen Märkte.
  - Präqualifikationsanforderungen senken bzw. Markt flexibilisieren.

Ausblick

- Spieltheoretisch sind extrem hohe Preise im SRL-Markt durch die regelmäßige Wiederholung mit konstanter Anbieterseite zu erklären.
- Positive Auswirkungen durch alleinige Umstellung auf UP zu bezweifeln.
- Vielversprechendere Maßnahmen?
  - Identiifikation eiines geeigneteren Beschaffungsmechanismus, insebsondere Zuschlagsregel überdenken.
  - Harmonisierung der europäischen Märkte.
  - Präqualifikationsanforderungen senken bzw. Markt flexibilisieren.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

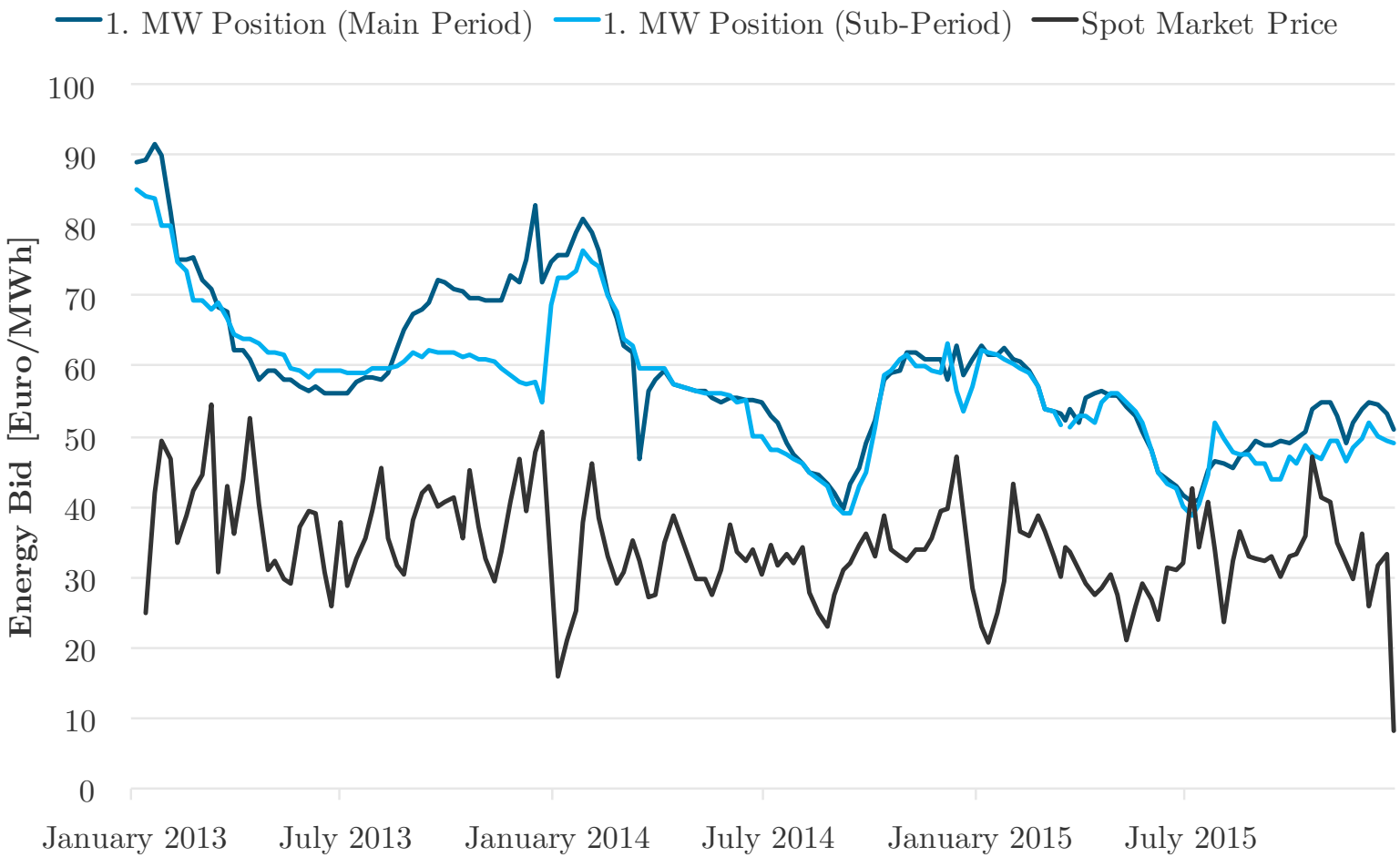
Backup

Beschaffung von Regelleistung in Deutschland

- SRL wird in DE in wöchentlichen Auktionen beschafft.
- Gebote beinhalten 3 Komponenten: angebotene Leistung [MW], Leistungspreis (LP) [€/MW], Arbeitspreis (AP) [€/MWh].
- Zuschlagsregel: Lediglich LP-Gebote werden berücksichtigt (aufsteigend).
- Aktivierungsstrategie: Merit-order unter den zugeschlagenen Bietern hinsichtlich deren AP-Gebot.
- Preisregel: Pay-as-bid (PAB) for sowohl Leistung als auch Arbeit.

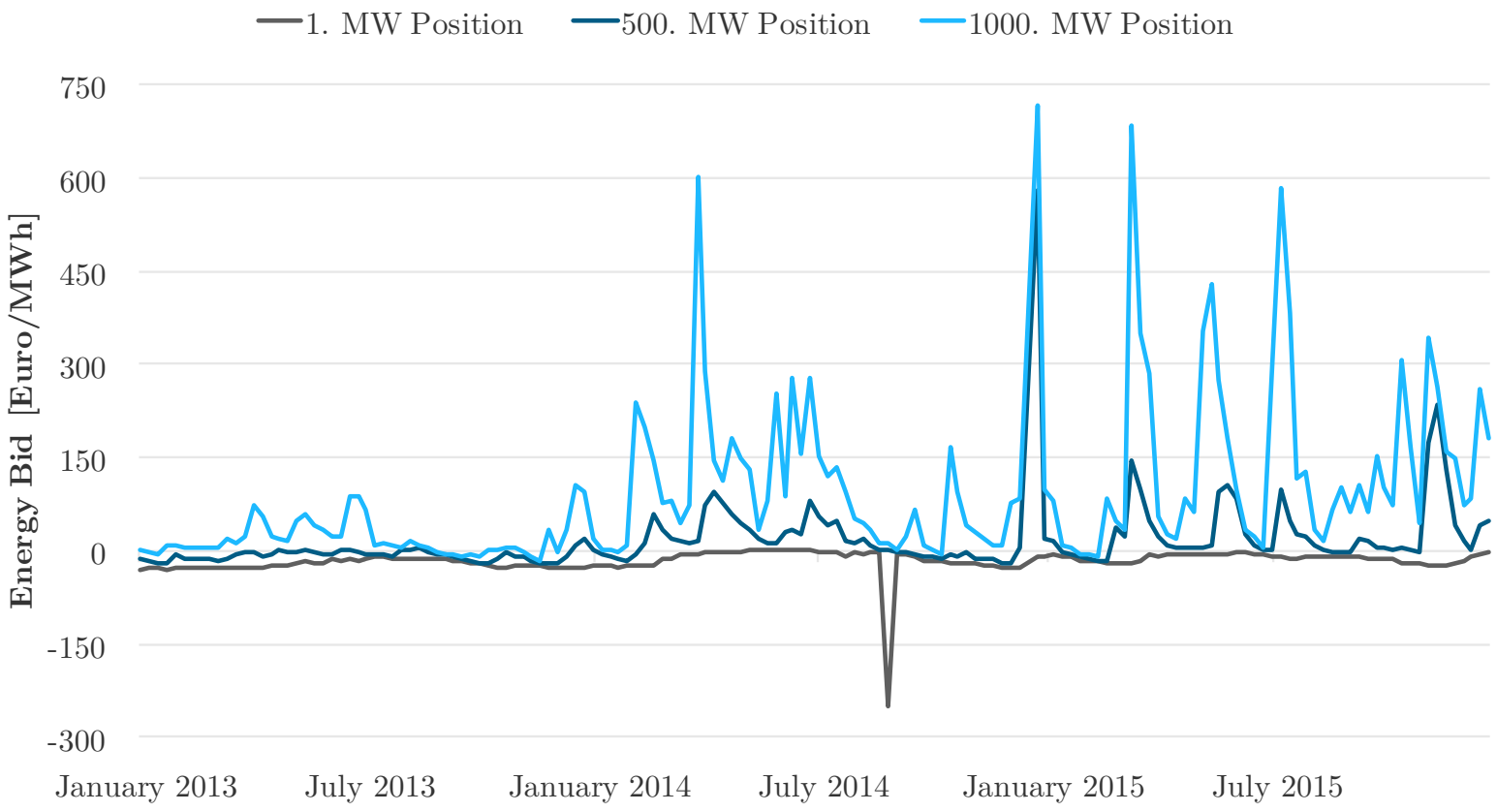
Empirie: AP-Gebot vs. Spotmarktpreis (positiver Markt)

Preisverläufe des niedrigesten bezuschlageten AP-Gebots.



Empirie: LP-Gebote (negativer Markt)

Verläufe der AP-Gebote an verschiedenen Merit-order Positionen.



Nomenclature

- n: number of bidders.
- p_i: power of plant i [MW]; w.l.o.g. $p_i = 1$.
- m: number of awarded bidders for power reserve, i.e. demand ($m < n$).
- t: relevant duration [h].
- $a \in [0, 1]$ maximal "calling probability".
- w: expected spot market price [€/MWh].
- π: profit.

Bidders' Calculus

Positive market

$$\pi_i^+(x_i) = \mathcal{P}^{win} \cdot \left(p^\beta + \mathcal{P}^{call} \cdot \left(p^\gamma - x_i\right)\right) + \left(1 - \mathcal{P}^{win}\right) \cdot \left(w - x_i\right)$$

Negative market

$$\pi_i^-(x_i) = \mathcal{P}^{win} \cdot \left(p^\beta + \left(w - x_i\right) + \mathcal{P}^{call} \cdot \left(p^\gamma + x_i\right)\right) + \left(1 - \mathcal{P}^{win}\right) \cdot \left(w - x_i\right)$$

Dependences

$\mathcal{P}^{win}$, p^β depend on β_i, β_{-i}

$\mathcal{P}^{call}$, p^γ depend on γ_i, γ_{-i}, β_i, β_{-i}

Bidders' Calculus

Positive market

$$\pi_i^+(x_i) = \mathcal{P}^{win} \cdot \left(p^\beta + \mathcal{P}^{call} \cdot \left(p^\gamma - x_i\right)\right) + \left(1 - \mathcal{P}^{win}\right) \cdot \left(w - x_i\right)$$

Negative market

$$\pi_i^-(x_i) = \mathcal{P}^{win} \cdot \left(p^\beta + \left(w - x_i\right) + \mathcal{P}^{call} \cdot \left(p^\gamma + x_i\right)\right) + \left(1 - \mathcal{P}^{win}\right) \cdot \left(w - x_i\right)$$

Dependences

$\mathcal{P}^{win}$, p^β depend on β_i, β_{-i}

$\mathcal{P}^{call}$, p^γ depend on γ_i, γ_{-i}, β_i, β_{-i}

Bidders' Calculus

Positive market

$$\pi_i^+(x_i) = \mathcal{P}^{win} \cdot \left(p^{\beta} + \mathcal{P}^{call} \cdot \left(p^{\gamma} - x_i\right)\right) + \left(1 - \mathcal{P}^{win}\right) \cdot \left(w - x_i\right)$$

Negative market

$$\pi_i^-(x_i) = \mathcal{P}^{win} \cdot \left(p^{\beta} + \left(w - x_i\right) + \mathcal{P}^{call} \cdot \left(p^{\gamma} + x_i\right)\right) + \left(1 - \mathcal{P}^{win}\right) \cdot \left(w - x_i\right)$$

Dependences

$\mathcal{P}^{win}$, p^{β} depend on β_i, β_{-i}

$\mathcal{P}^{call}$, p^{γ} depend on γ_i, γ_{-i}, β_i, β_{-i}

Bidders' Calculus

Positive market

$$\pi_i^+(x_i) = \mathcal{P}^{win} \cdot \left(p^{\beta} + \mathcal{P}^{call} \cdot \left(p^{\gamma} - x_i \right) \right) + \left(1 - \mathcal{P}^{win} \right) \cdot \left(w - x_i \right)$$

Negative market

$$\pi_i^-(x_i) = \mathcal{P}^{win} \cdot \left(p^{\beta} + \left(w - x_i \right) + \mathcal{P}^{call} \cdot \left(p^{\gamma} + x_i \right) \right) + \left(1 - \mathcal{P}^{win} \right) \cdot \left(w - x_i \right)$$

Dependences

$\mathcal{P}^{win}$, p^{β} depend on β_i, β_{-i}

$\mathcal{P}^{call}$, p^{γ} depend on γ_i, γ_{-i}, β_i, β_{-i}

Equilibrium Existence (U/P$^+$)

Proposition 1.

In the positive SBP market with U/P pricing, the bidding functions

$$\beta(x) = (w - x)t - (\gamma(x) - x)ta$$

$$\gamma(x) = E[X|X \geq x] = x + \frac{\int_x^{x_1} 1 - F(s)ds}{1 - F(x)}$$

constitute the unique symmetric Bayesian Nash equilibrium in monotonic bidding functions.

Equilibrium Existence (Negative Market)

Proposition 2.

In the negative SBP market with both P/P pricing or U/P pricing, the bidding functions

$$\beta(x) = 0 \text{ and } \gamma(x) = \begin{cases} -\dfrac{\int_{x_0}^{x} sf(s)\left(\int_{x_0}^{s} \frac{f_{(m)}(r)}{1-F(r)}\,dr\right)ds}{\int_{x_0}^{x}\left(F(x)-F(s)\right)\frac{f_{(m)}(s)}{1-F(s)}\,ds} & x > x_0 \\ -x_0 & x = x_0 \end{cases}$$

constitute the unique symmetric Bayesian Nash equilibrium.

Equilibrium Existence (Negative Market)

Proposition 2.

In the negative SBP market with both P/P pricing or U/P pricing, the bidding functions

$$\beta(x) = 0 \text{ and } \gamma(x) = \begin{cases} -\dfrac{\int_{x_0}^{x} sf(s)\left(\int_{x_0}^{s} \frac{f_{(m)}(r)}{1-F(r)}\,dr\right)ds}{\int_{x_0}^{x}\left(F(x)-F(s)\right)\frac{f_{(m)}(s)}{1-F(s)}\,ds} & x > x_0 \\ -x_0 & x = x_0 \end{cases}$$

constitute the unique symmetric Bayesian Nash equilibrium.

Equilibrium Properties (Negative Market)

Proposition 3.

In the equilibrium of the positive SBP market with both P/P and U/P pricing the following hold.

(a) $\gamma(x) \leq 0$ *for all* $x \in [x_0, x_1]$.

(b) γ *is decreasing in* x.

(c) *The auction outcome is efficient (assuming the current tie-breaking rule).*

Expected Profits (Negative Market)

Proposition 4.

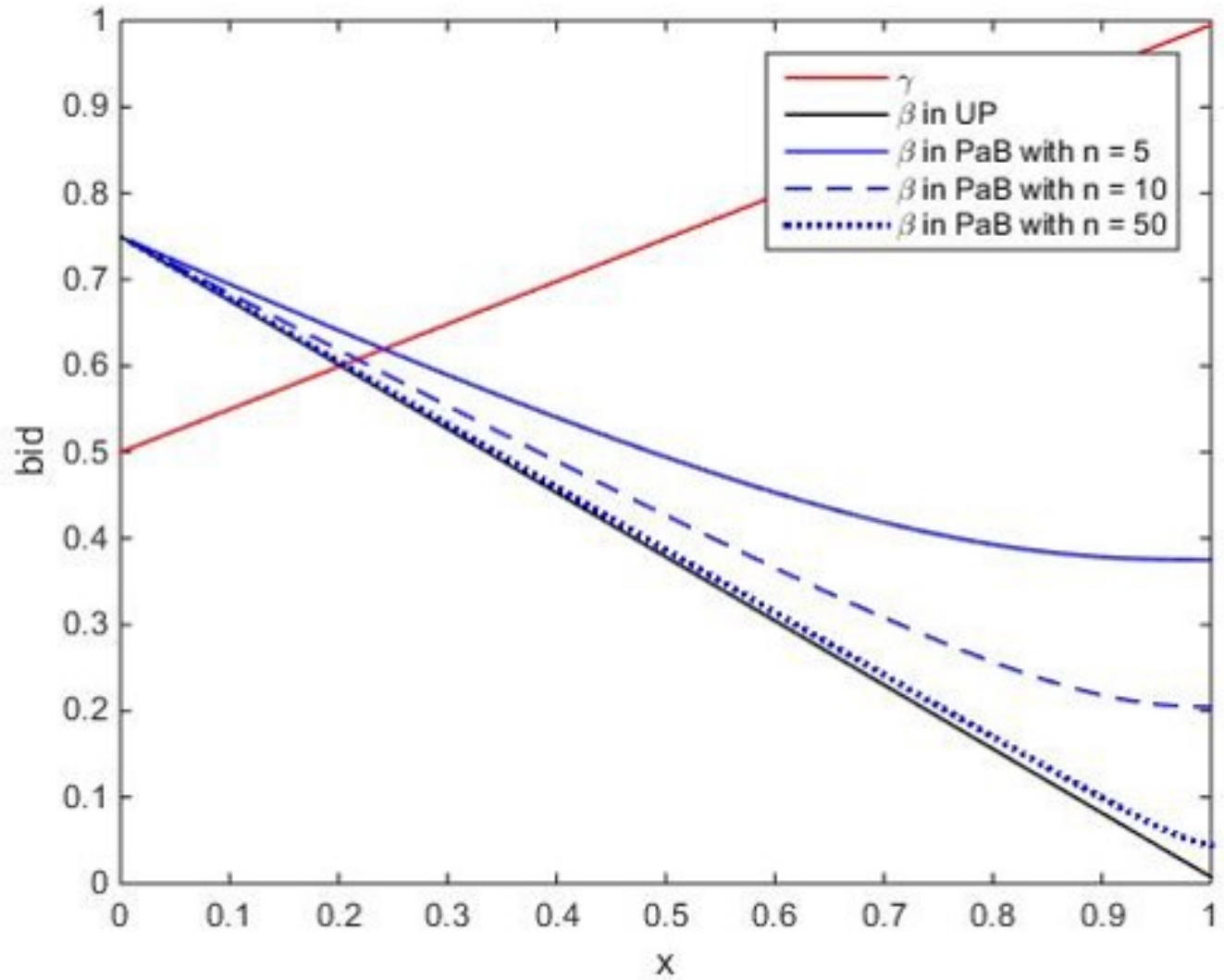
In the equilibrium of the negative SBP market the following hold.

(a) $E[\pi(x)] > E\left[\pi^{SPOT}(x)\right]$ *for all* $x \in (x_0, x_1]$.

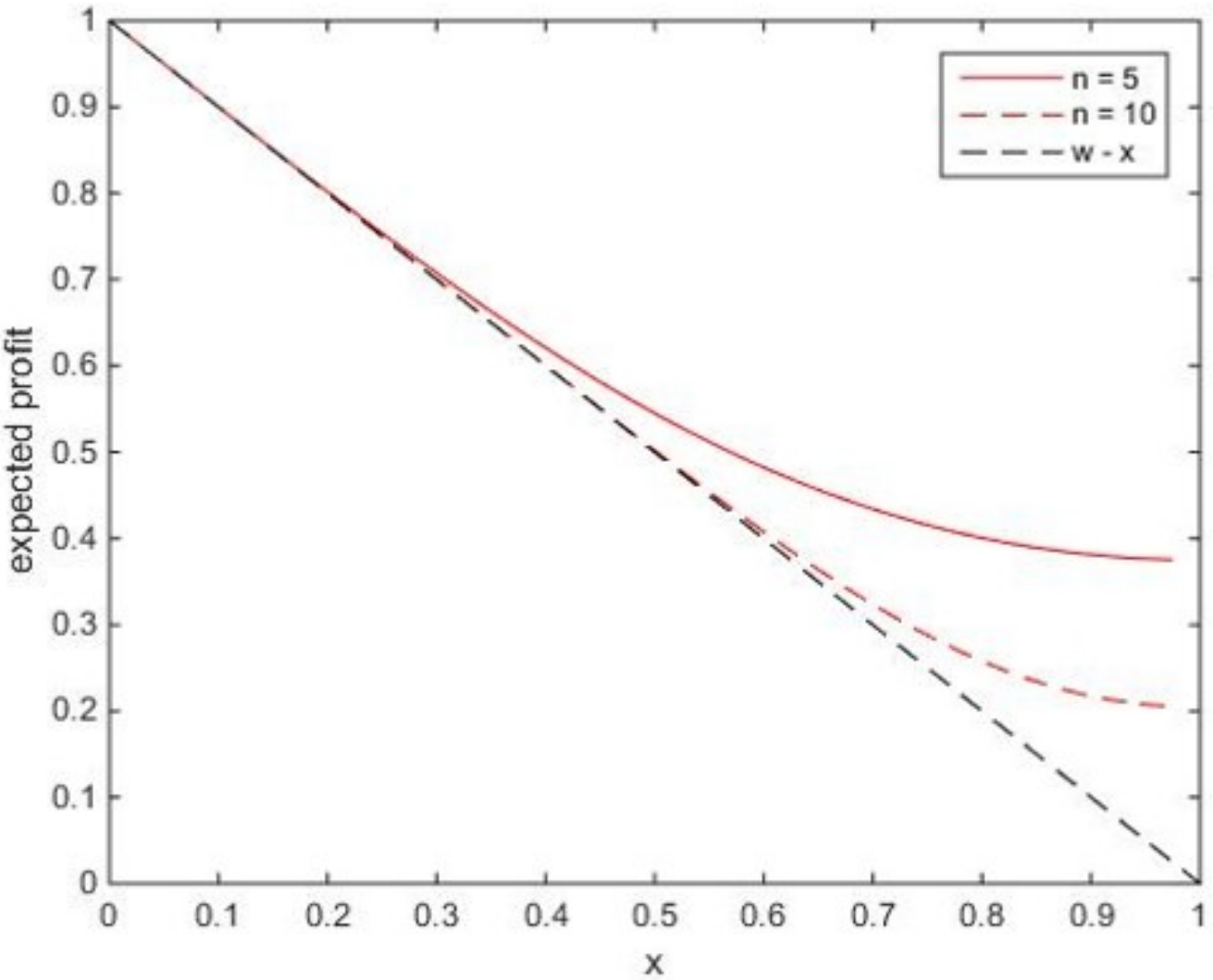
(b) $E[\pi]$ *is decreasing in* x.

(c) $E[\pi(x)]$ *is decreasing in* n *for all* $x \in (x_0, x_1]$.

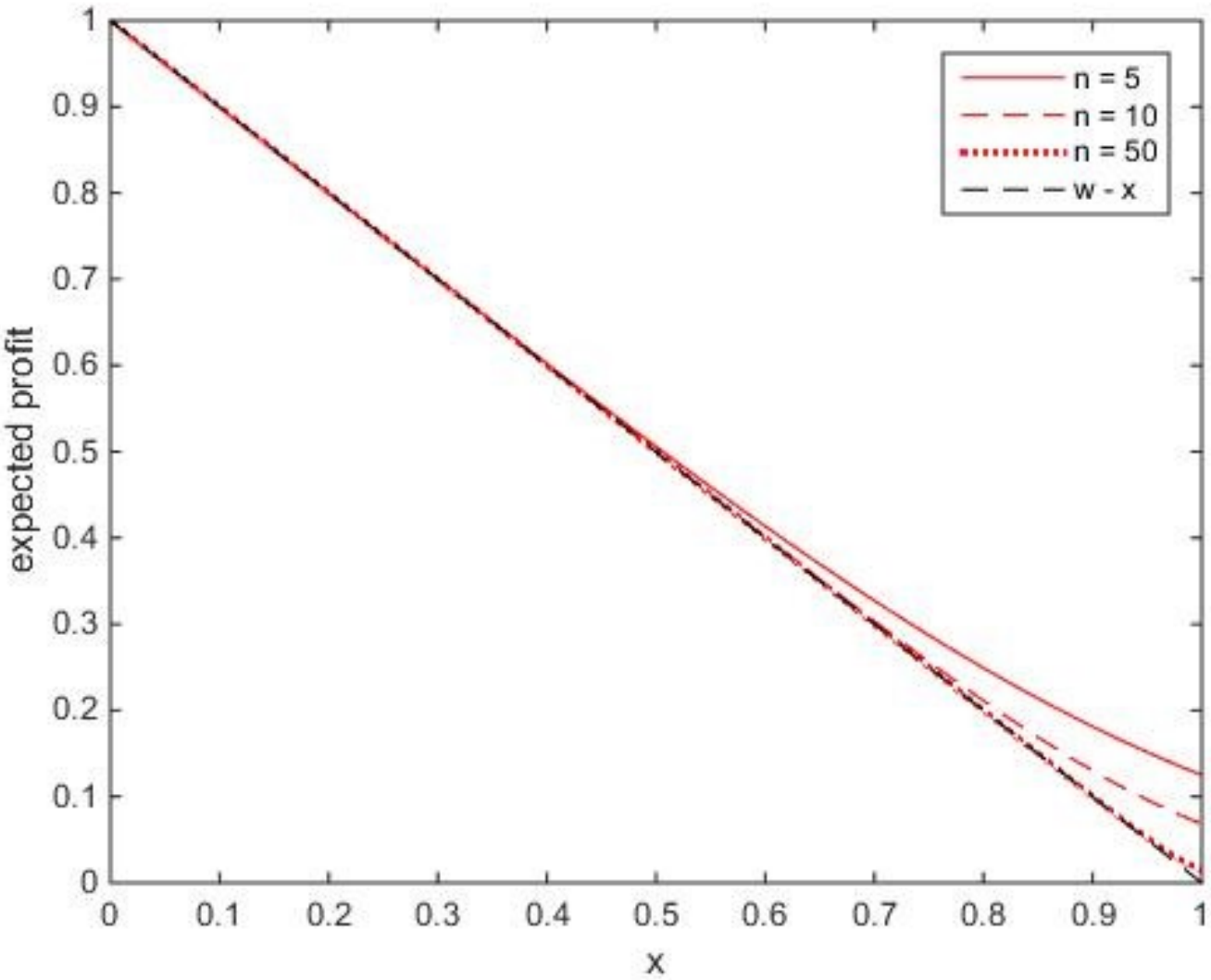
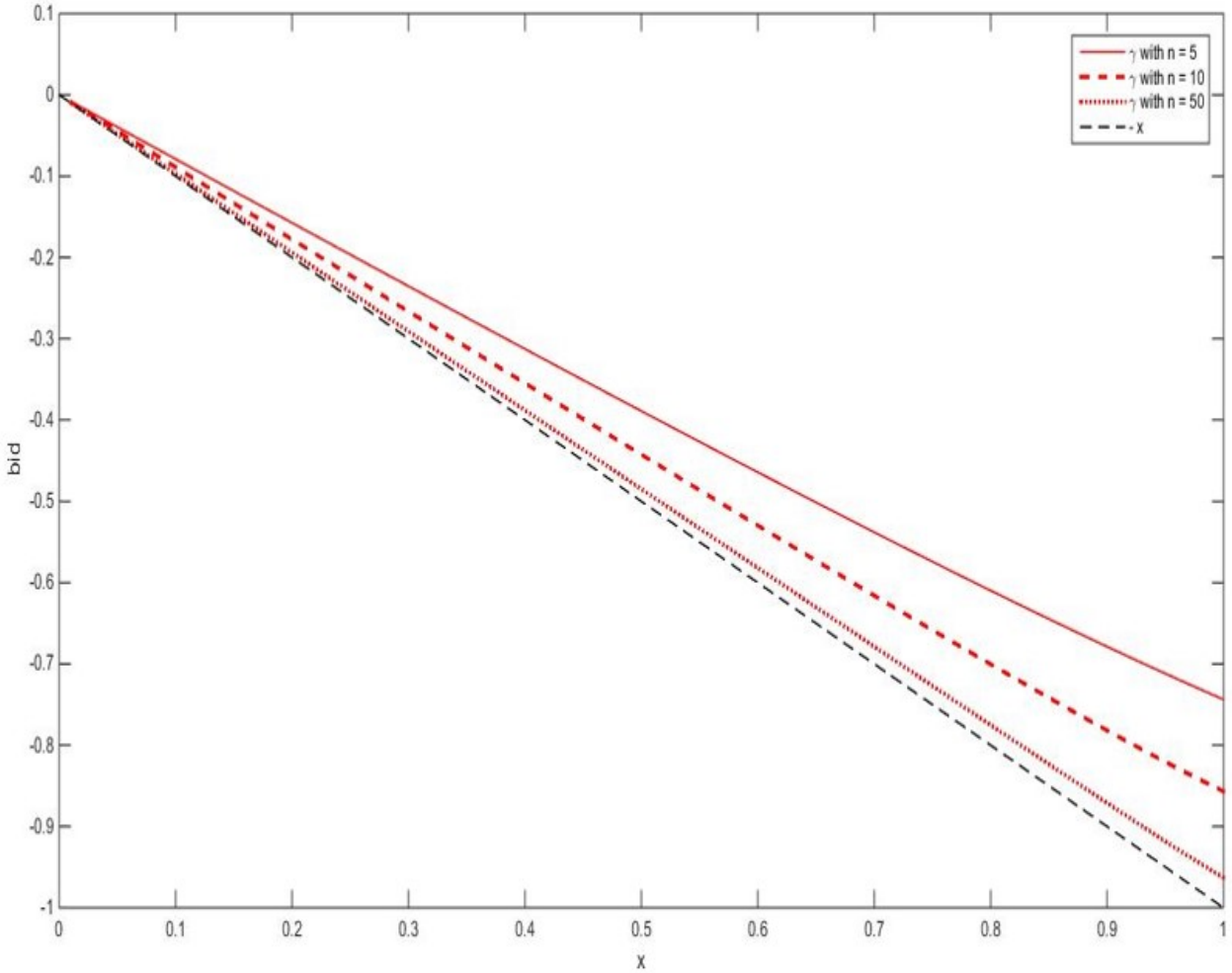
Numerical Bidding Functions (Positive Market)



Numerical Expected Profits (Positive Market)



Numerical Expected Profits (Negative Market)



Numerical Bidding Functions (Negative Market)