

Ermittlung des Marktwertes der deutschlandweiten Stromerzeugung aus regenerativen Kraftwerken (Los 1)

Gutachten für die TransnetBW GmbH in Vertretung der
deutschen Übertragungsnetzbetreiber

- ▶ Beschreibung der Aufgabenstellung
- ▶ Verwendete Methodik und Daten
- ▶ Plausibilisierung des Modells
- ▶ Prognose der Marktwertfaktoren
- ▶ Ergebnisse je Energieträger

- ▶ **Beschreibung der Aufgabenstellung**
- ▶ Verwendete Methodik und Daten
- ▶ Plausibilisierung des Modells
- ▶ Prognose der Marktwertfaktoren
- ▶ Ergebnisse je Energieträger

- ▶ Die deutschen Übertragungsnetzbetreiber ermitteln im Rahmen der Berechnung der EEG-Umlage die prognostizierten Einnahmen der regenerativen Stromerzeugung für die Kalenderjahre 2014 bis 2018.
- ▶ Zu Prognose der Erlöse muss gemäß §3 und §4 der Ausgleichsmechanismusverordnung (AusglMechV) der Marktwert der regenerativen Energieträger prognostiziert werden.
- ▶ Die Prognose hat nach dem ‚Stand von Wissenschaft und Technik‘ zu erfolgen (§4 AusglMechV)
- ▶ Ziel dieses Gutachtens ist die Ermittlung der Marktwertfaktoren der regenerativen Energieträger:
 - ◇ Verwendung zur Berechnung der Erlöse aus der Vermarktung der EE-Einspeisung in der Festpreisvergütung
 - ◇ Bestimmung der Höhe der Marktprämienzahlungen

- ▶ Der Marktwert eines regenerativen Energieträgers ergibt sich als mengengewichteter Durchschnitt der
 - ◇ (stündlichen) Strompreise am Großhandelsmarkt und der
 - ◇ (stündlichen) Einspeisestrukturen in der jeweiligen Analyseperiode
- ▶ Der Marktwertfaktor eines regenerativen Energieträgers gibt also an, wie hoch der Wert des eingespeisten Stroms gegenüber einer reinen Base-Einspeisung ist.
 - ◇ Marktwertfaktor < 1 : EE-Energieträger speist überwiegend zu *niedrigeren* Preisen als dem Durchschnittspreis ein.
 - ◇ Marktwertfaktor > 1 : EE-Energieträger speist überwiegend zu *höheren* Preisen als dem Durchschnittspreis ein.
- ▶ Je höher der Marktwertfaktor eines Energieträgers ist, umso höher ist also die Wertigkeit des durch ihn erzeugten Stroms.

- ▶ Der Marktwertfaktor entspricht dem Quotienten aus dem mengengewichteten Durchschnittserlös und dem Durchschnitt der Strompreise am Großhandelsmarkt in der jeweiligen Analyseperiode:

$$MWF^e = \frac{\sum_{t=1}^T (p_t \times m_t^e)}{\left(\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T p_t \right) \times \left(\sum_{t=1}^T m_t^e \right)}$$

↔

Tatsächlicher Vermarktungserlös
Vermarktungserlös zum Base-Preis

- ▶ MWF^e : Marktwertfaktor des Energieträgers e (z. B. Photovoltaik) im Betrachtungszeitraum (z. B. Kalenderjahr)
- ▶ T : Anzahl der Stunden im Betrachtungszeitraum
- ▶ p_t : Strompreis in der Stunde t in €/MWh
- ▶ m_t^e : Einspeisung des Energieträgers e in Stunde t in Megawatt

Die Analysen wurden für folgende regenerativen Energieträger durchgeführt:

- ▶ Photovoltaik (§32)
- ▶ Wind Onshore inkl. Repowering (§29 und §30 EEG)
- ▶ Wind Offshore (§31 EEG)
- ▶ Wasserkraft (§23 EEG)
- ▶ Geothermie (§28 EEG)
- ▶ Biomasse (§27 EEG)
- ▶ Deponiegas/Klärgas/Grubengas (§24, §25, §26 EEG)

Vermeintliches Paradoxon: Jährlicher Marktwertfaktor liegt außerhalb der Bandbreite der monatlichen Marktwertfaktoren

- ▶ Der Marktwertfaktor bezieht sich immer auf das Verhältnis des Vermarktungserlöses zum mittleren Vermarktungserlös *im jeweiligen Betrachtungszeitrum*.
- ▶ Wenn z. B. in einem Monat mit hohen Preisen verhältnismäßig viel eingespeist wird (und damit hohe Vermarktungserlöse erzielt werden), kann dies in der Jahresbetrachtung den Marktwert nach oben beeinflussen, obwohl im diesem speziellen Monat der Marktwert *im Verhältnis zum Durchschnittspreis in diesem Monat* nicht überdurchschnittlich hoch ist (und somit *kein* hoher Marktwertfaktor erzielt wurde).
- ▶ Einfaches (künstliches) Zahlenbeispiel mit zwei Monaten, wobei in beiden Monaten jeweils im Mittel zum Monats-Base-Preis eingespeist wird (Marktwertfaktor jeweils genau 1):

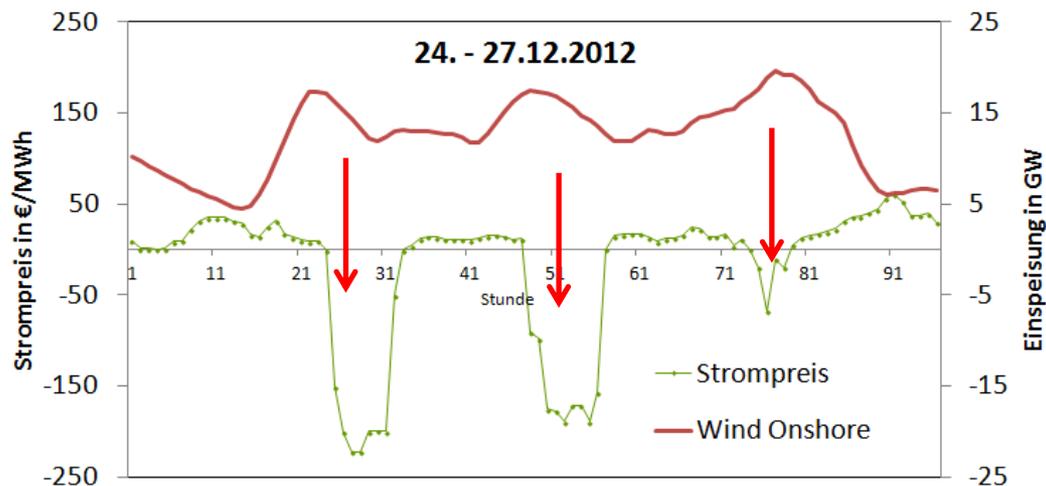
	Monat A	Monat B	Monat A und Monat B
Einspeisemenge	100 MWh	200 MWh	100 MWh + 200 MWh = 300 MWh
Base-Preis	30 €/MWh	40 €/MWh	35 €/MWh
Vermarktungs- erlös	100 MWh * 30 €/MWh = 3.000 €	200 MWh * 40 €/MWh = 8.000 €/MWh	3.000 € + 8.000 € = 11.000 €
Wert zum Base- Preis	100 MWh * 30 €/MWh = 3.000 €/MWh	200 MWh * 40 €/MWh = 8.000 €/MWh	300 MWh * 35 €/MWh = 10.500 €/MWh
Marktwertfaktor	3.000 € / 3.000 € = 1,000	8.000 € / 8.000 € = 1,000	11.000 € / 10.500 € = 1,048

Auswirkung der EE-Einspeisung auf Strompreis und Marktwertfaktoren: ‚Preis-Rückkopplungseffekt‘

- ▶ Die Einspeisung aus regenerativen Energien beeinflusst den Strompreis. *Ceteris paribus* gilt:
 - ◇ Hohe Einspeisung bewirkt niedrigen Strompreis
 - ◇ Niedrige Einspeisung bewirkt hohen Strompreis
- ▶ Da die Wertigkeit des Energieträgers vom Strompreis abhängt, wird durch eine hohe Einspeisung eines regenerativen Energieträgers (und des damit einhergehenden preisdämpfenden Effekts) dessen Marktwertfaktor gesenkt.

Beispiel Wind Onshore:

- ◇ Marktwertfaktor im Dezember 2012 lediglich 0,610
- ◇ Hauptgrund: Hohe Einspeisung um Weihnachten



- ▶ Zur Prognose der Marktwertfaktoren ist die Prognose stündlicher Strompreise und der stündlichen Einspeisung aus jedem regenerativen Energieträger nötig:



- ▶ Erstellung eines ökonometrischen Modells
- ▶ Parametrisierung des Modells
- ▶ Prognose der Strompreise

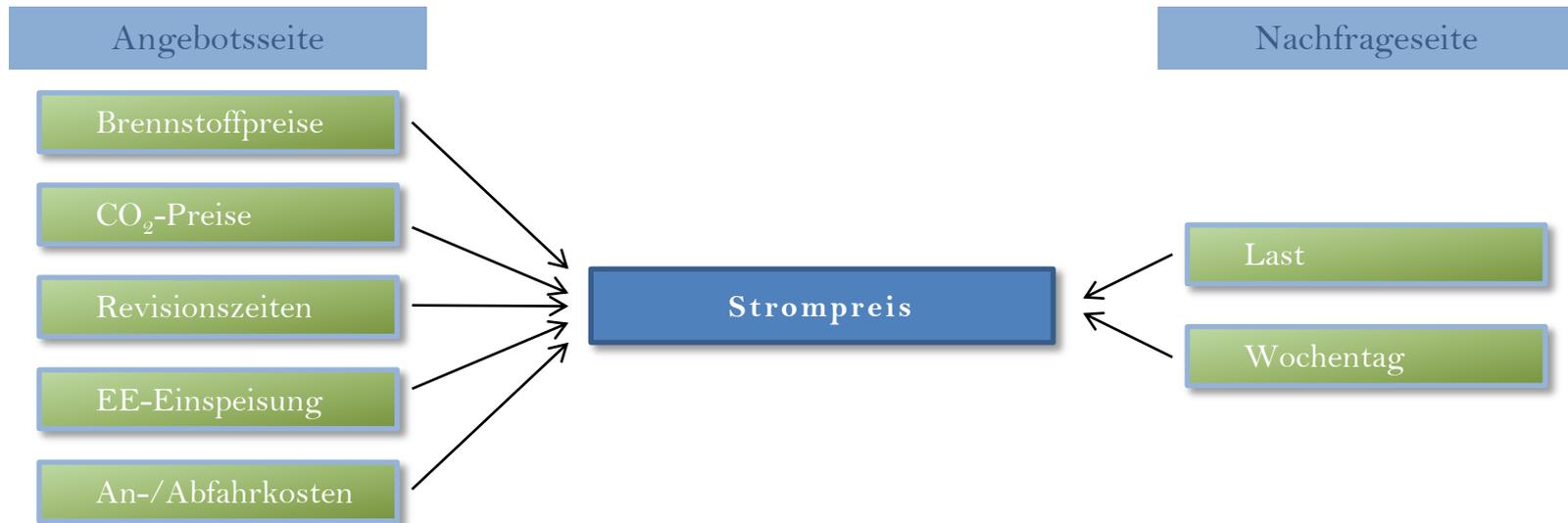
- ▶ Nutzung historischer Einspeiseganglinien, bzw. Wetterganglinien
- ▶ Berücksichtigung eines regionalisierten Zubaus

Durchführung in diesem Los, Beschreibung auf den folgenden Seiten

Durchführung im Rahmen von Los 2: „Mittelfristprognose zur deutschlandweiten Stromerzeugung aus EEG geförderten Kraftwerken für die Kalenderjahre 2014 bis 2018“

- ▶ Beschreibung der Aufgabenstellung
- ▶ **Verwendete Methodik und Daten**
- ▶ Plausibilisierung des Modells
- ▶ Prognose der Marktwertfaktoren
- ▶ Ergebnisse je Energieträger

- ▶ Identifizierung angebots- und nachfrageseitiger Einflussfaktoren auf den Strompreis



- ▶ Testen verschiedener ökonomischer Modelle mit unterschiedlichen Eingangsparametern und Bestimmung der Prognosegüte auf Basis historischer Daten
- ▶ Ergebnis: Zweistufiges Vorgehen zur Strompreisprognose

1. Stufe

- ▶ Ermittlung der langfristigen Einflussfaktoren auf die Preise
 - ◇ Alle identifizierten angebotsseitigen Einflussfaktoren wurden hinsichtlich ihres Erklärungsgehalts untersucht.
 - ◇ Ermittelte Faktoren:
 - Indikator Peak/Offpeak-Stunde ($I_{\text{peak/offpeak}}$)
⇒ *Veränderung der Angebotskurve in entsprechenden Stunden*
 - Brennstoffpreis Steinkohle (p_{SK})
⇒ *Preissetzung hauptsächlich durch Kohlekraftwerke, keine Verbesserung des Erklärungsgehalts durch Einbeziehung anderer Brennstoffpreise (auch aufgrund der hohen Korrelation beispielsweise zwischen Kohle -und Gaspreisen)*
 - CO₂-Preis (p_{CO_2})
⇒ *Veränderung der Angebotskurve*
 - Indikator Anfahrkosten (I_{Anfahr})
⇒ *Anfahrkosten werden in der Stunde der täglich höchsten Last eingepreist (basiert auf Informationen von Kraftwerksbetreibern), daher Abbildung mittels Indikatorvariable*

- ▶ Formulierung des Zusammenhangs in einem Regressionsmodell:

$$p_t^1 = f(I_{peak/offpeak}; P_{SK}; P_{CO2}; I_{Anfahrt})$$

- ▶ Schätzung der Modellparameter mit historischen Daten der Jahre 2009 bis 2012

2. Stufe

- ▶ Ermittlung der kurzfristig volatilen Einflussfaktoren auf die Preise

- ◇ Last (last)
- ◇ Einspeisung der erneuerbaren Energien (ee)

Last abzüglich EE-Einspeisung ergibt die Residuallast.

- ▶ Formulierung des Zusammenhangs in einem Regressionsmodell:

$$p_t = f(p_t^1; last; ee)$$

- ▶ Schätzung der Modellparameter mit historischen Daten der Jahre 2009 bis 2012

Modell zur Prognose stündlicher Strompreise

Beschreibung verwendeter Daten zur Modellschätzung

- ▶ **Strompreise**
 - ◇ Historische Preisnotierungen an der EEX/EPEX
 - ◇ Zeitliche Auflösung: stündlich
- ▶ **Steinkohlepreise**
 - ◇ Historische Preisnotierungen an der EEX
 - ◇ Berücksichtigung einer typischen Beschaffungsstrategie: Die Beschaffung beginnt üblicherweise drei Monate vor Erzeugung und erfolgt ab dann kontinuierlich.
 - ◇ Zeitliche Auflösung: täglich
- ▶ **CO₂-Preise**
 - ◇ Historische Preisnotierungen an der EEX
 - ◇ Zeitliche Auflösung: täglich
- ▶ **Anfahrkosten**
 - ◇ Indikator im Fall der höchsten Last des jeweiligen Tags
 - ◇ Zeitliche Auflösung: täglich
- ▶ **Last**
 - ◇ Veröffentlichte Werte des ‚European Network of Transmission System Operators for Electricity‘ (ENTSO-E)
 - ◇ Zeitliche Auflösung: stündlich
- ▶ **Einspeisung erneuerbarer Energien**
 - ◇ Historische Ganglinien aller Energieträger (von den Übertragungsnetzbetreibern zur Verfügung gestellt)
 - ◇ Zeitliche Auflösung: stündlich

- ▶ Beschreibung der Aufgabenstellung
- ▶ Verwendete Methodik und Daten
- ▶ **Plausibilisierung des Modells**
- ▶ Prognose der Marktwertfaktoren
- ▶ Ergebnisse je Energieträger

- ▶ Zur Plausibilisierung des Modells wurden historische Marktwertfaktoren berechnet und mit den tatsächlich realisierten Marktwertfaktoren verglichen.
- ▶ Die Plausibilisierung wurde anhand eines Vergleichs der durch das Modell prognostizierten Marktwertfaktoren (,berechnet‘) mit den tatsächlich realisierten Marktwertfaktoren (,tatsächlich‘) durchgeführt.
- ▶ Die Ergebnisse wurden für jede Technologie
 - ◇ für die Jahre 2009 bis 2012 jährlich
 - ◇ für die beiden letzten Jahre (2011 und 2012) monatlich berechnet.

Historische Marktwertfaktoren

Jährlicher Vergleich

	Photovoltaik		Wind onshore		Wind offshore	
	tatsächlich	berechnet	tatsächlich	berechnet	tatsächlich	berechnet
2009	1,105	1,106	0,912	0,931	0,905	0,980
2010	1,100	1,087	0,948	0,923	1,020	0,983
2011	1,095	1,086	0,923	0,922	0,954	0,944
2012	1,039	1,052	0,877	0,913	0,945	0,960

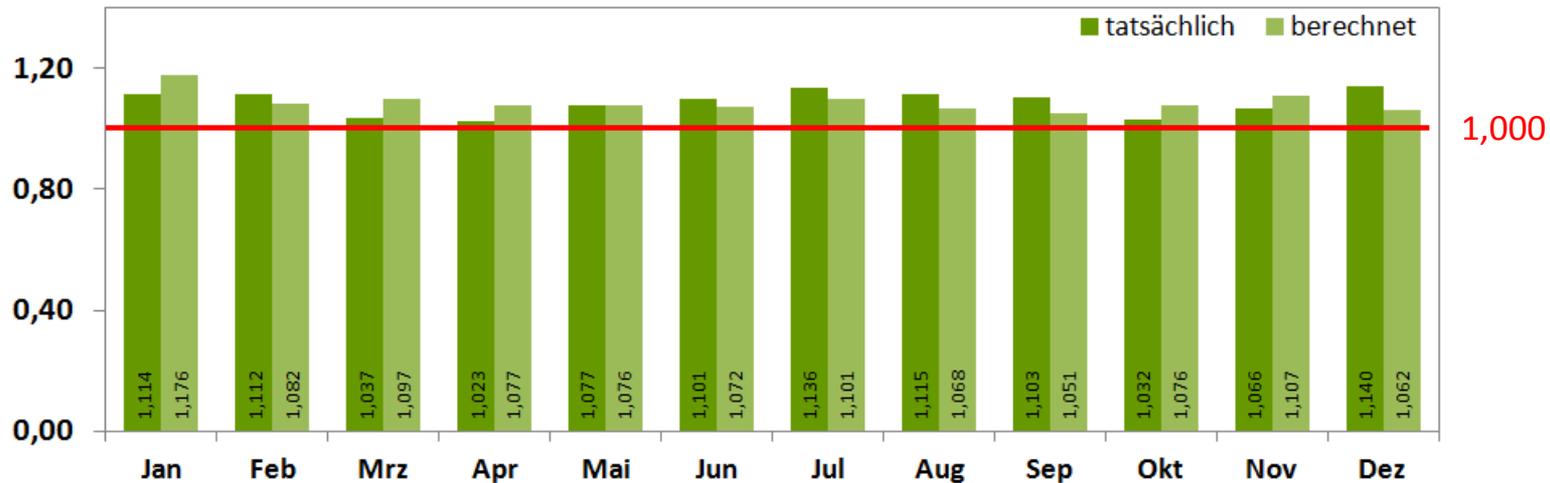
Sehr geringe Datenbasis, daher kein aussagekräftiges Ergebnis

	Wasser		Geothermie		Biomasse		Gase	
	tatsächlich	berechnet	tatsächlich	berechnet	tatsächlich	berechnet	tatsächlich	berechnet
2009	0,981	0,994	0,906	0,949	0,997	0,998	0,998	0,995
2010	0,997	0,998	0,985	0,983	1,001	0,999	0,979	0,986
2011	0,992	0,998	0,972	0,980	0,998	0,998	1,000	0,999
2012	0,993	1,006	0,968	0,976	1,001	1,003	0,993	0,992

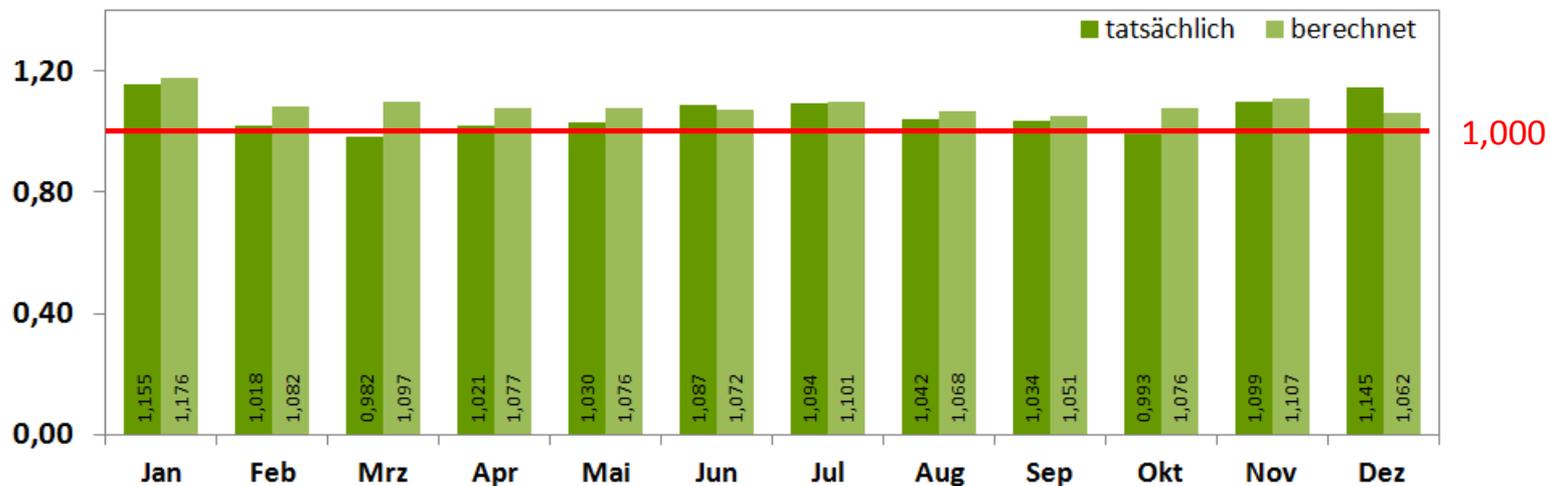
Historische Marktwertfaktoren

Photovoltaik

2011



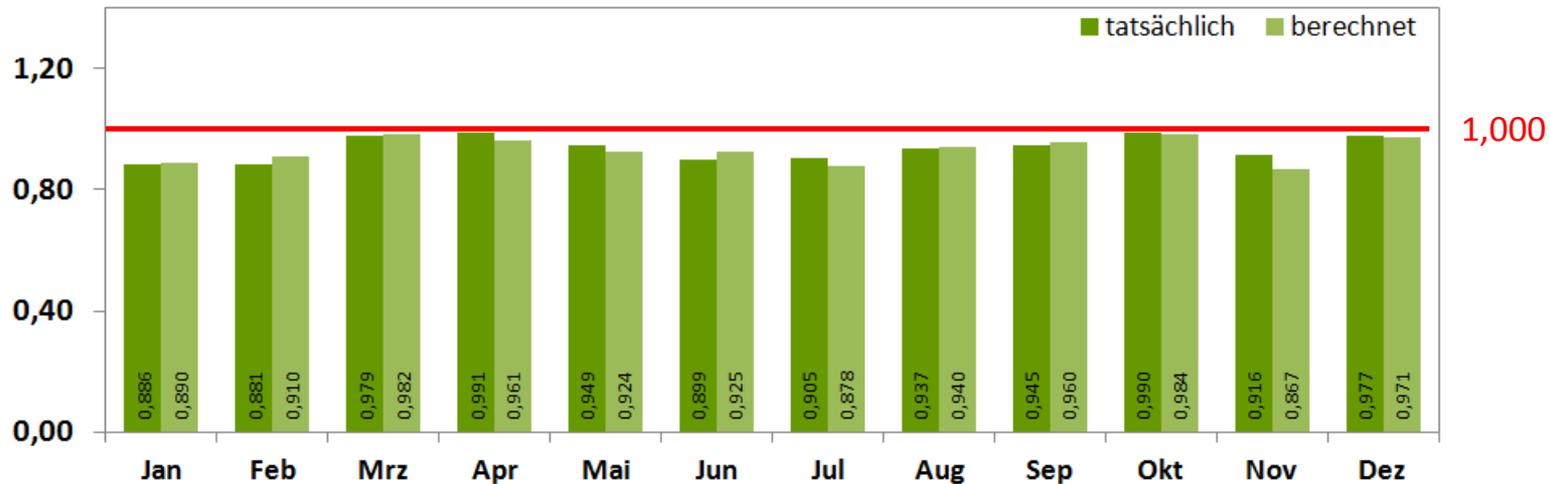
2012



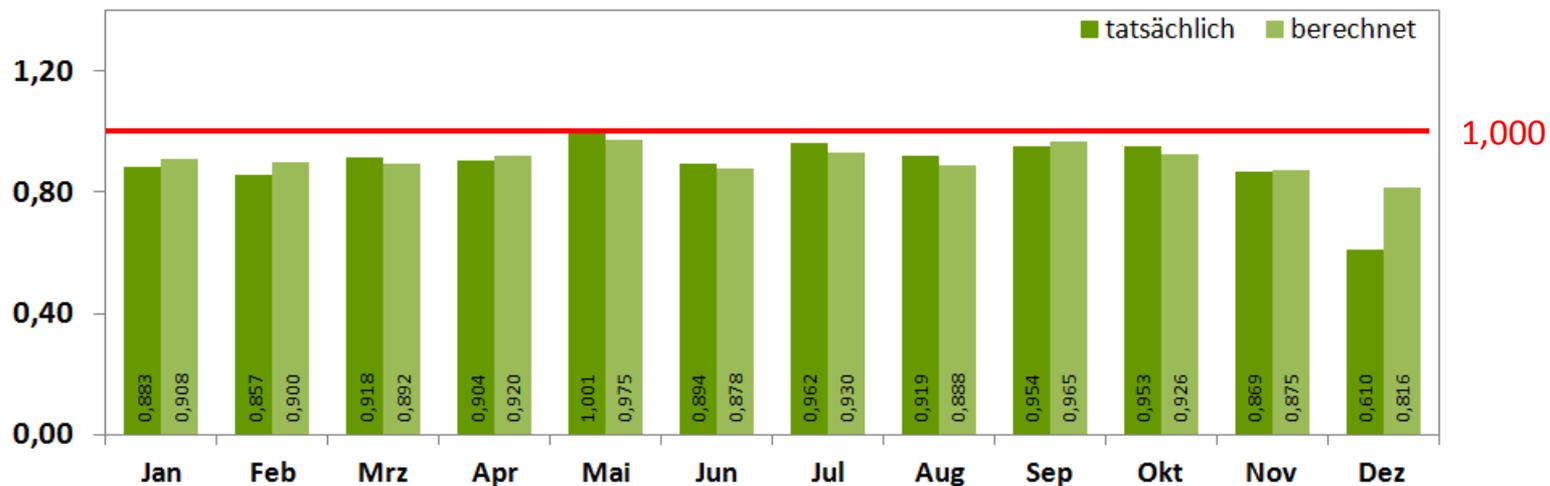
Historische Marktwertfaktoren

Wind Onshore

2011



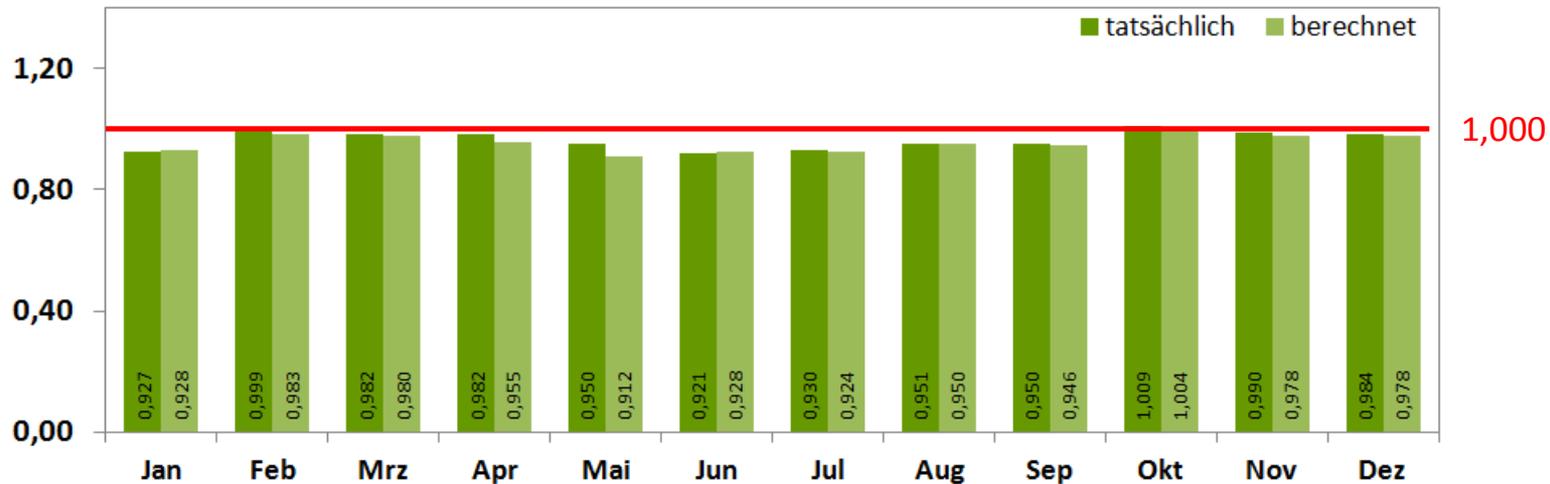
2012



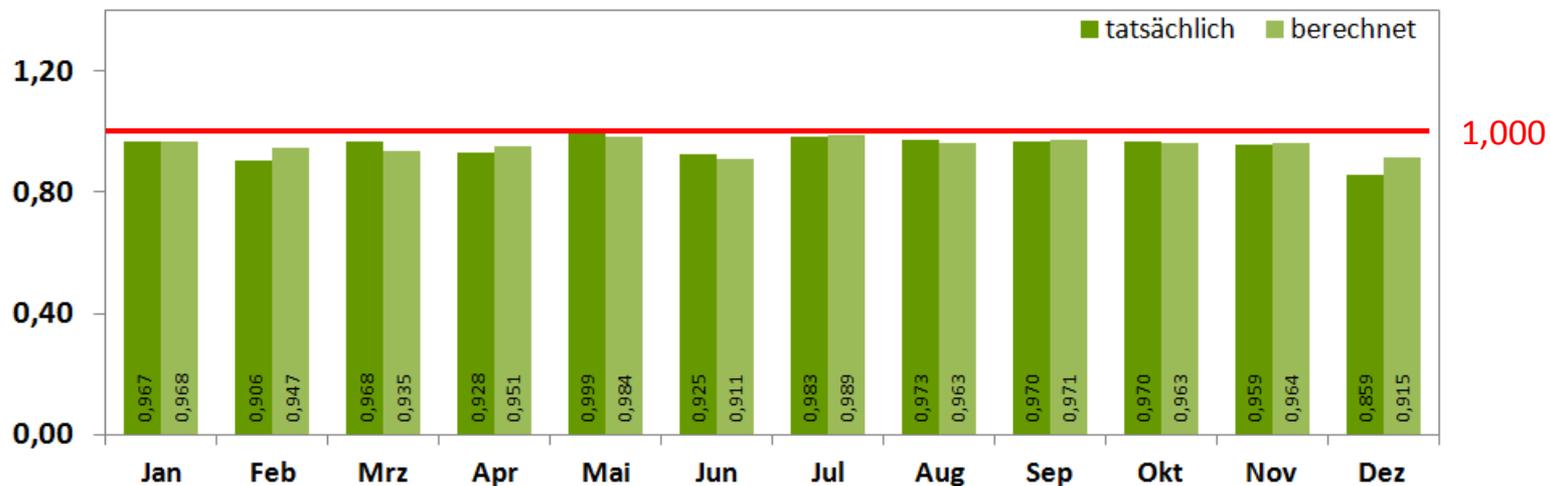
Historische Marktwertfaktoren

Wind Offshore

2011



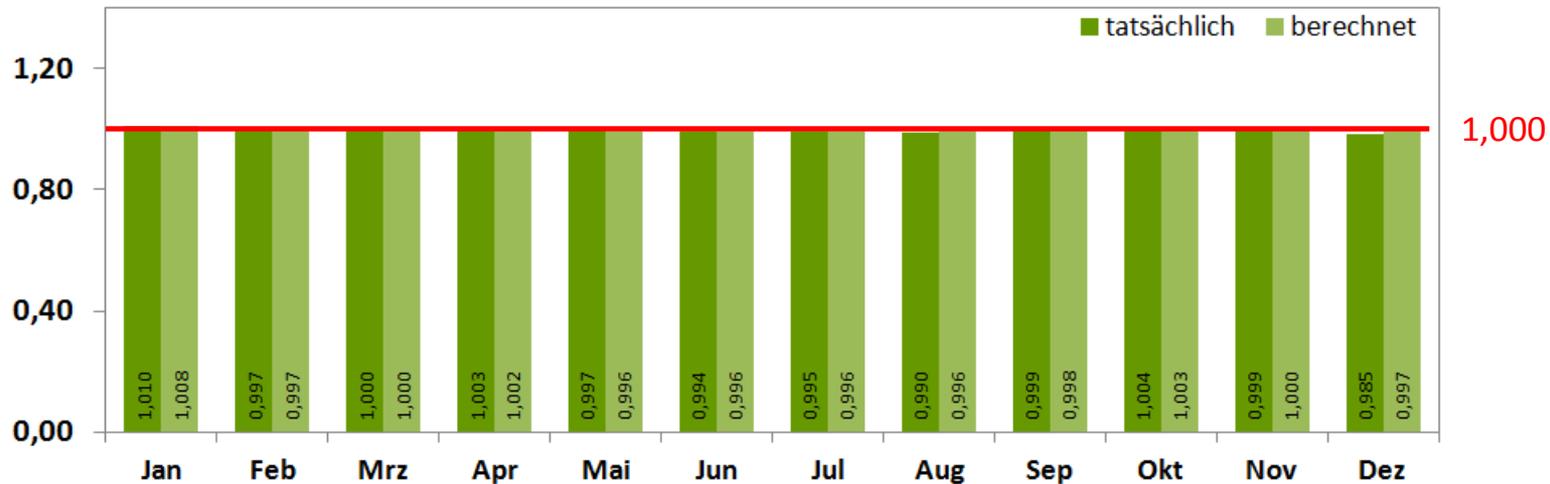
2012



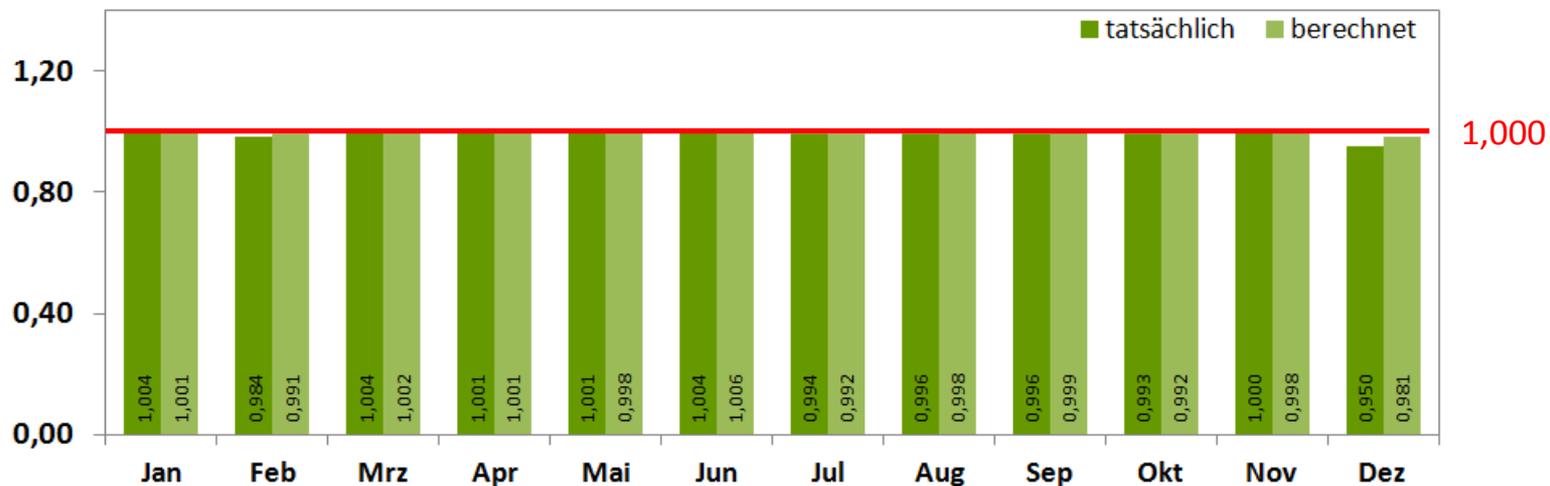
Historische Marktwertfaktoren

Wasser

2011

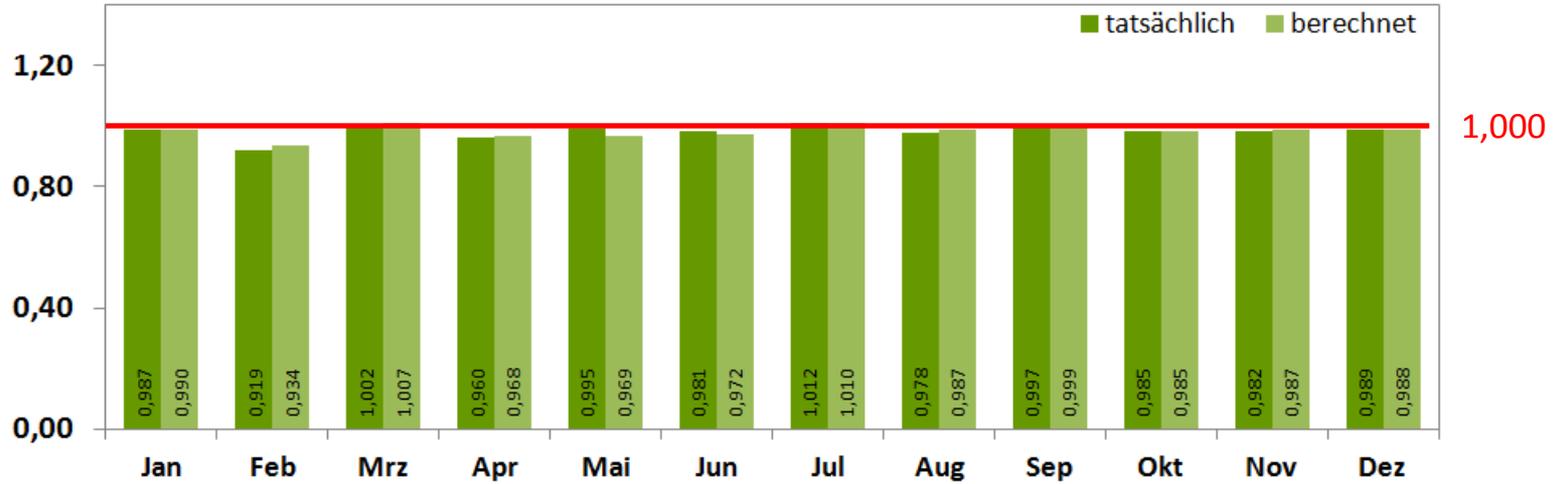


2012

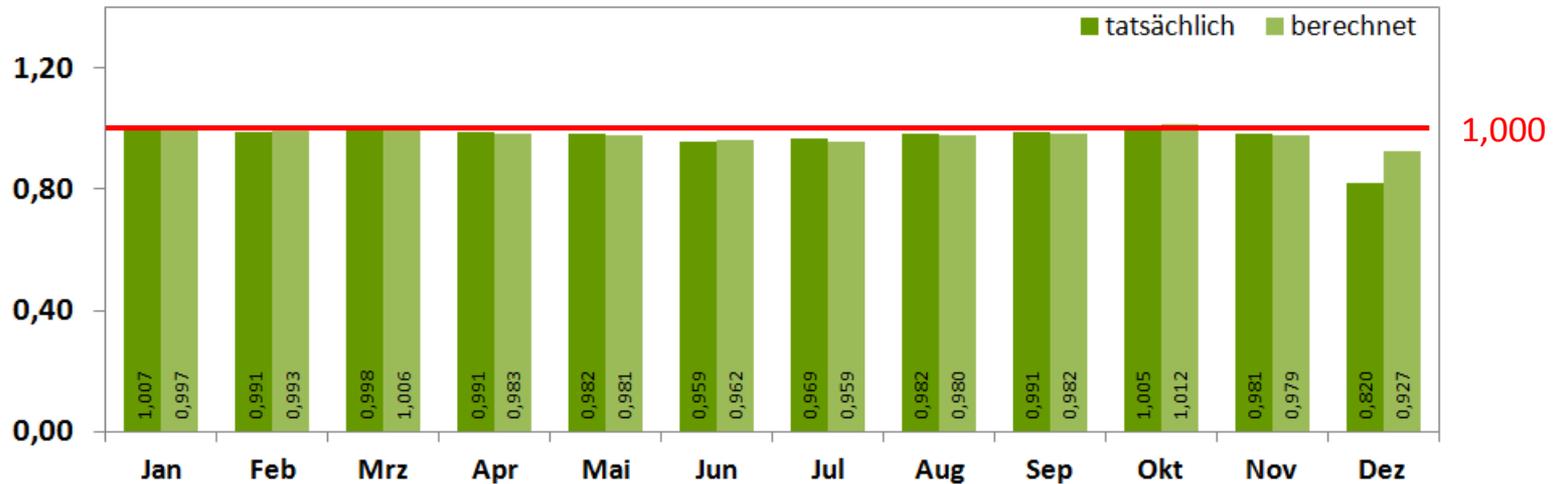


Historische Marktwertfaktoren Geothermie

2011

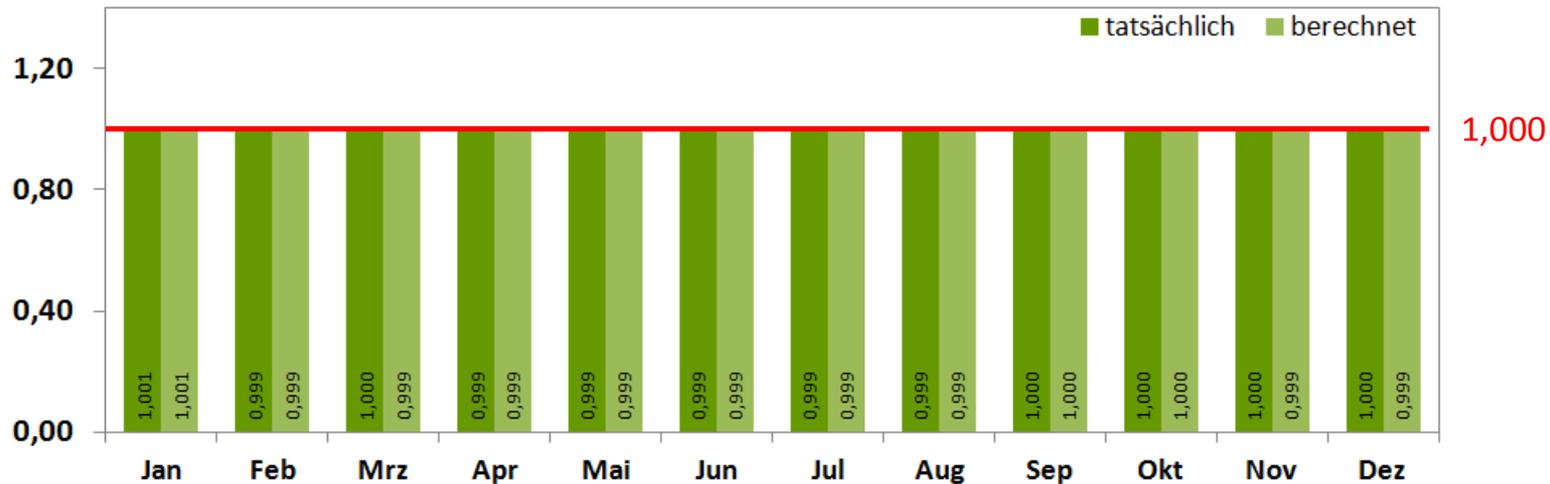


2012

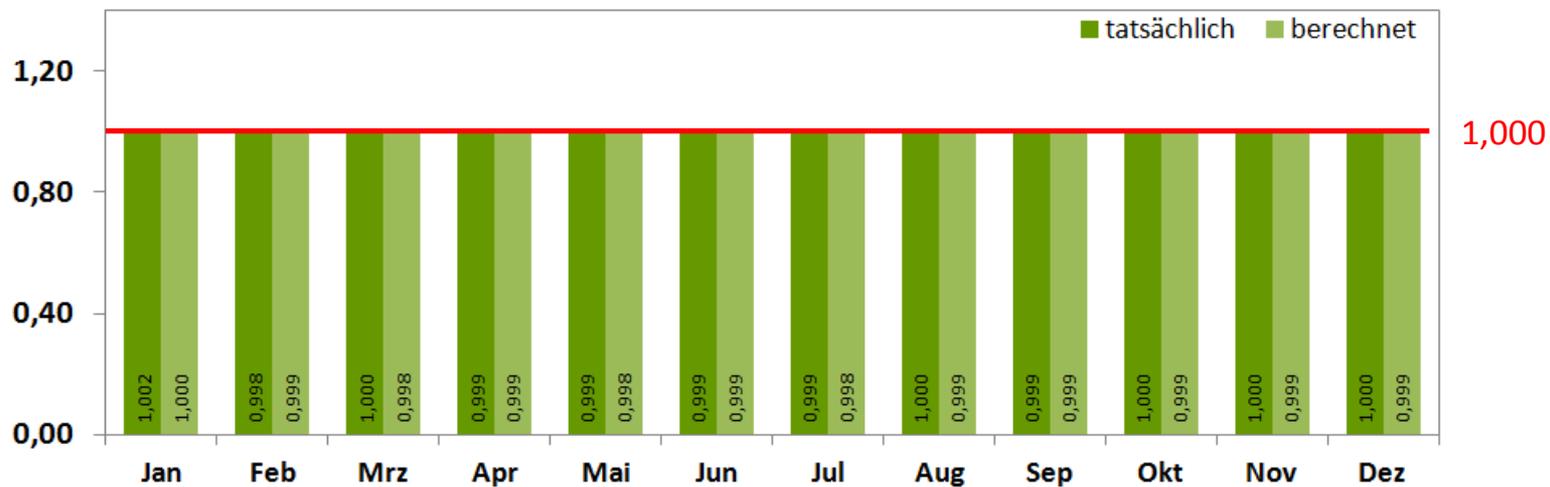


Historische Marktwertfaktoren Biomasse

2011



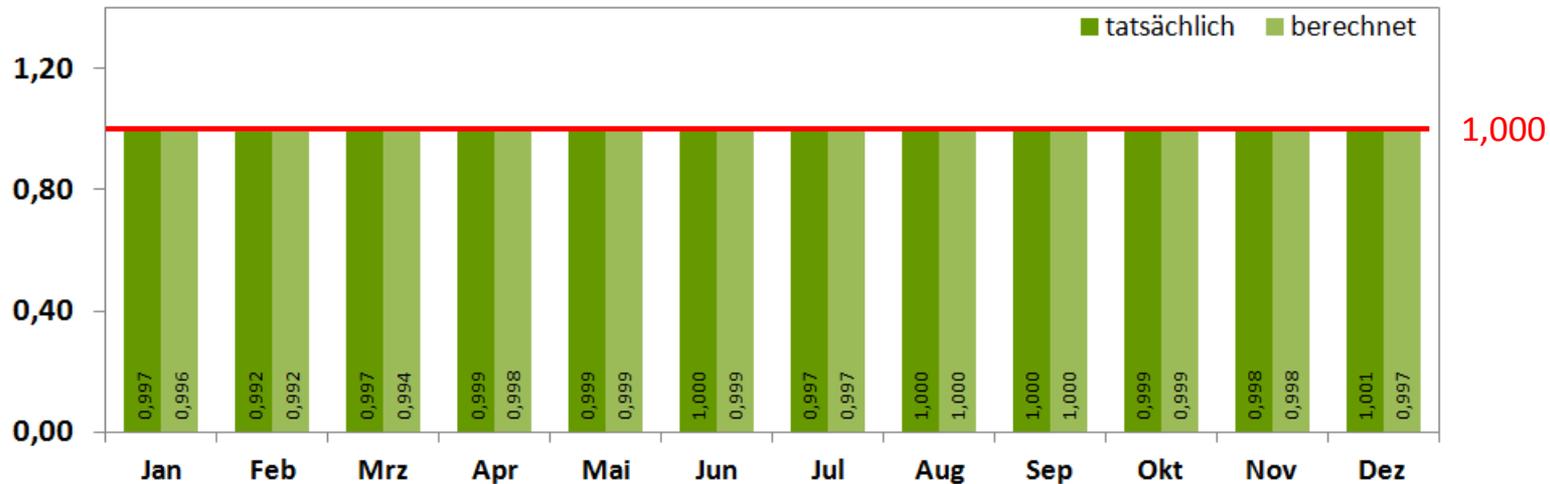
2012



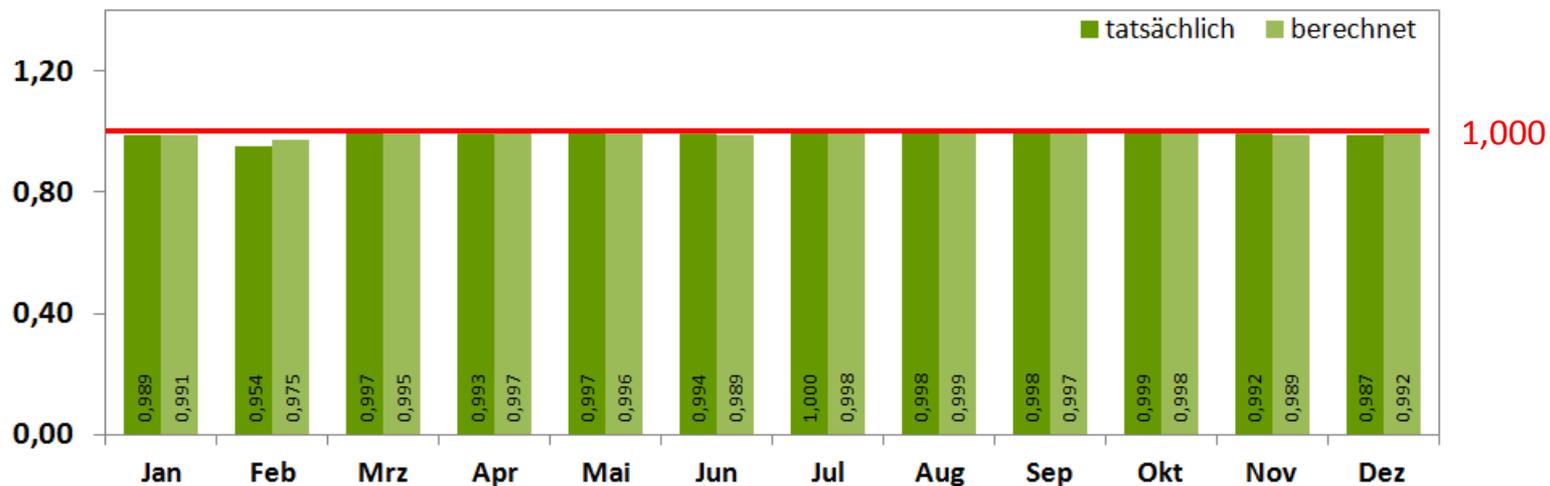
Historische Marktwertfaktoren

Gase

2011



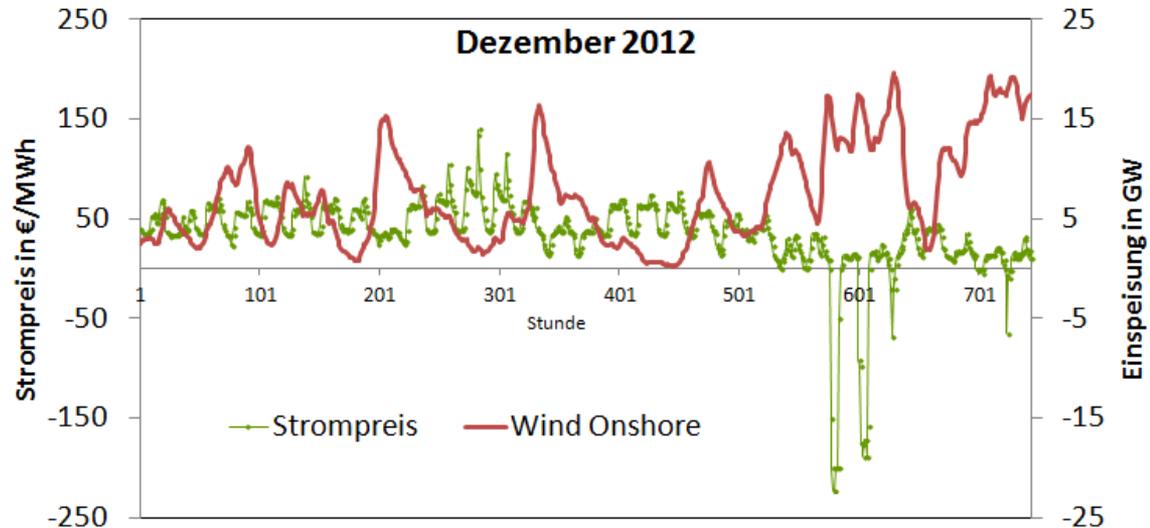
2012



- ▶ Die historischen *jährlichen* Marktwertfaktoren können mit dem Modell sehr gut prognostiziert werden.
- ▶ Die historischen *monatlichen* Marktwertfaktoren können für das *Jahr 2011* mit dem Modell sehr gut prognostiziert werden.
- ▶ Die im Dezember 2012 sehr stark schwankenden Strompreise verzerren das Bild dieses Jahres leicht.
 - ◊ Insbesondere im Monat Dezember weicht die Prognose vom tatsächlichen Wert ab.
 - ◊ Insbesondere bei Wind Onshore sorgt dies auch zu einer Überschätzung der Wertigkeit für 2012.
- ▶ Der jährliche Trend der Marktwertfaktoren wird durch das Modell dennoch gut erfasst.

Um Weihnachten 2012
Auftreten einer ‚Extrem‘-
Situation:

- ▶ Geringes Lastniveau an den Weihnachtsfeiertagen
- ▶ Sehr hohe Windeinspeisung



Resultate:

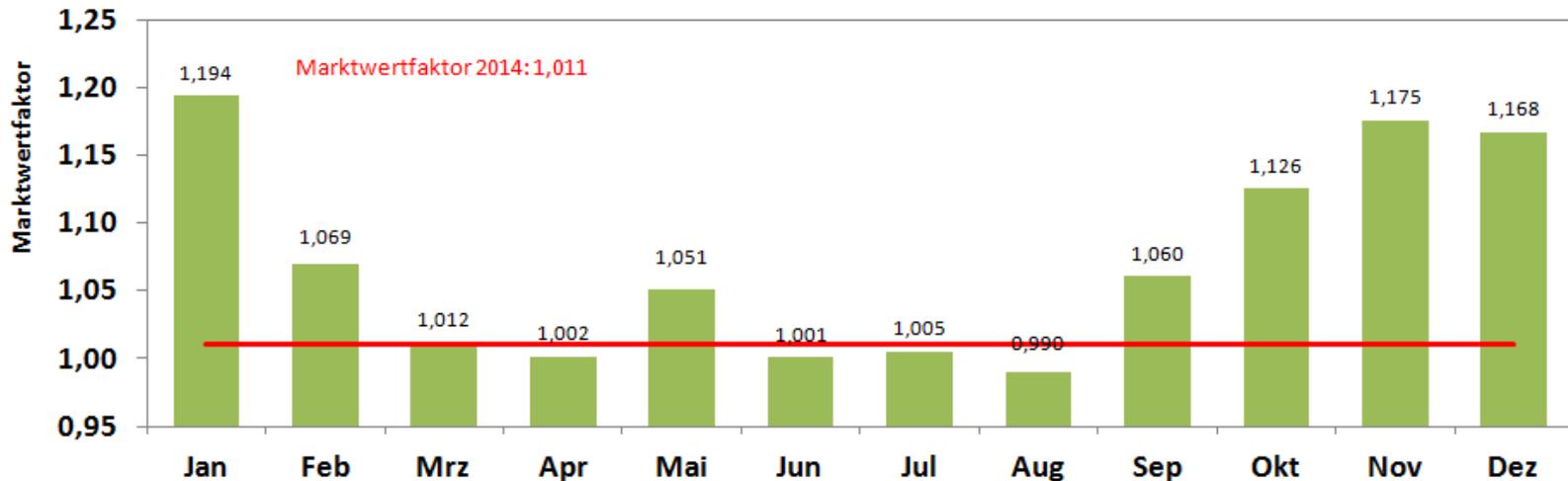
- ▶ Sehr niedrige und teils stark negative Strompreise in Zeiten hoher Windeinspeisung, insbesondere nachts
- ▶ Hoher ‚Preis-Rückkopplungseffekt‘ von Wind (vgl. Folie 9)
 - ◇ Hohe Windeinspeisung sorgt aufgrund des ‚merit order‘-Effekts in diesen Stunden für einen niedrigen Strompreis.
 - ◇ Hierdurch sinkt der Marktwertfaktor von Wind Onshore.
 - ◇ Ebenfalls Einfluss auf den Marktwertfaktor von Geothermie (Einspeisung erfolgte zu ‚ungünstigen‘ Zeitpunkten).

- ▶ Beschreibung der Aufgabenstellung
- ▶ Verwendete Methodik und Daten
- ▶ Plausibilisierung des Modells
- ▶ **Prognose der Marktwertfaktoren**
- ▶ Ergebnisse je Energieträger

- ▶ **Steinkohlepreise**
 - ◇ Terminpreisnotierung an der EEX
 - ◇ Für 2014: Quartalsstruktur der Preise
 - ◇ Ab 2015: Jährliche Preise
- ▶ **CO₂-Preise**
 - ◇ Terminpreisnotierung an der EEX
- ▶ **Last**
 - ◇ Typische Verbrauchsstrukturen für
 - Werkzeuge
 - Wochenenden
 - Bundeseinheitliche Feiertage
 - ◇ Basis: historische Nachfragestrukturen
- ▶ **Einspeisung erneuerbarer Energien**
 - ◇ Stündliche Prognose gemäß der Berechnungen in Los 2
- ▶ **Berücksichtigung aktuell gültiger Terminpreisnotierungen an der EEX**

- ▶ Beschreibung der Aufgabenstellung
- ▶ Verwendete Methodik und Daten
- ▶ Plausibilisierung des Modells
- ▶ Prognose der Marktwertfaktoren
- ▶ **Ergebnisse je Energieträger**

Prognostizierte Marktwertfaktoren Photovoltaik

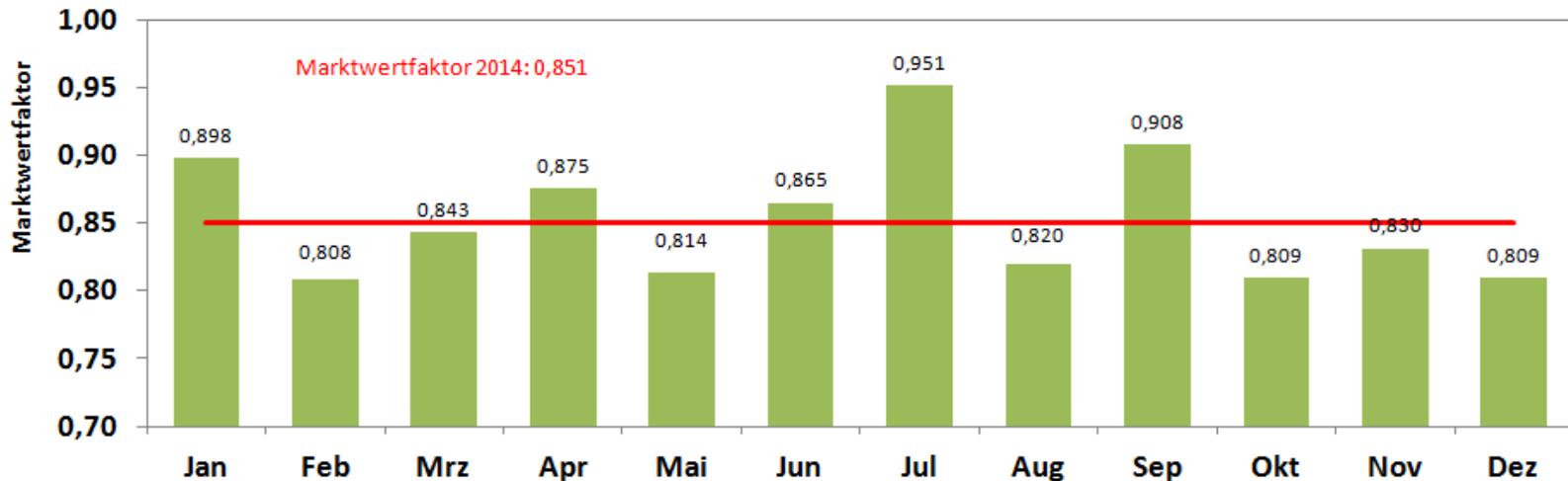


Jahr	2014	2015	2016	2017	2018
MWF Photovoltaik	1,011	0,992	0,977	0,963	0,948

- ▶ Hohe unterjährige Volatilität der Marktwertfaktoren (bei hoher Einspeisung im Sommer deutlich niedriger als im Winter)
- ▶ Abnehmender jährlicher Marktwertfaktor in den kommenden Jahren
- ▶ Hauptgrund: ‚Preis–Rückkopplung‘ (hohe Einspeisung im Sommer drückt in diesen Monaten die Preise; vgl. Folie 9)

Prognostizierte Marktwertfaktoren

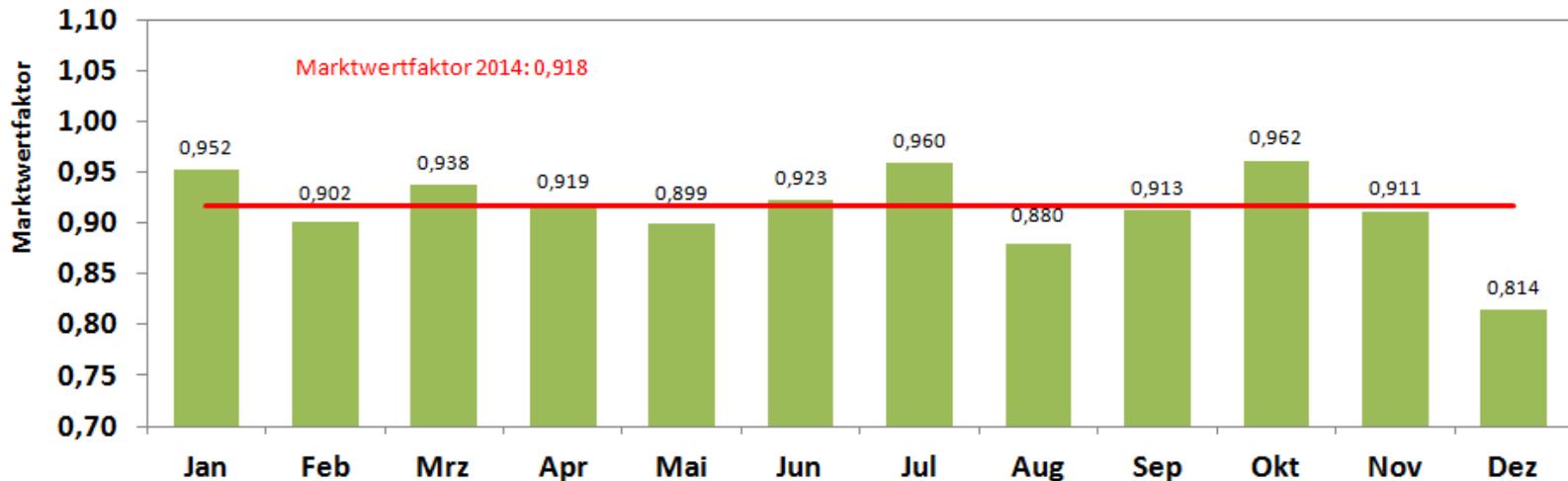
Wind Onshore



Jahr	2014	2015	2016	2017	2018
MWF Wind Onshore	0,851	0,845	0,842	0,838	0,841

- ▶ Hohe unterjährliche Volatilität der Marktwertfaktoren, insbesondere aufgrund der Struktur der Einspeisung
- ▶ Hauptgründe: ‚Preis-Rückkopplung‘ (vgl. Folie 9), Korrelation mit PV-Einspeisung (z. B. im Juli verhältnismäßig niedrig)
- ▶ Abnehmender jährlicher Marktwertfaktor in den kommenden Jahren (sehr geringe Erhöhung 2018, unmittelbare Erklärung hierfür schwierig, da die Struktur der stündlichen Strompreise unter anderem von der Einspeisung der anderen EE-Technologien beeinflusst wird)

Prognostizierte Marktwertfaktoren Wind Offshore

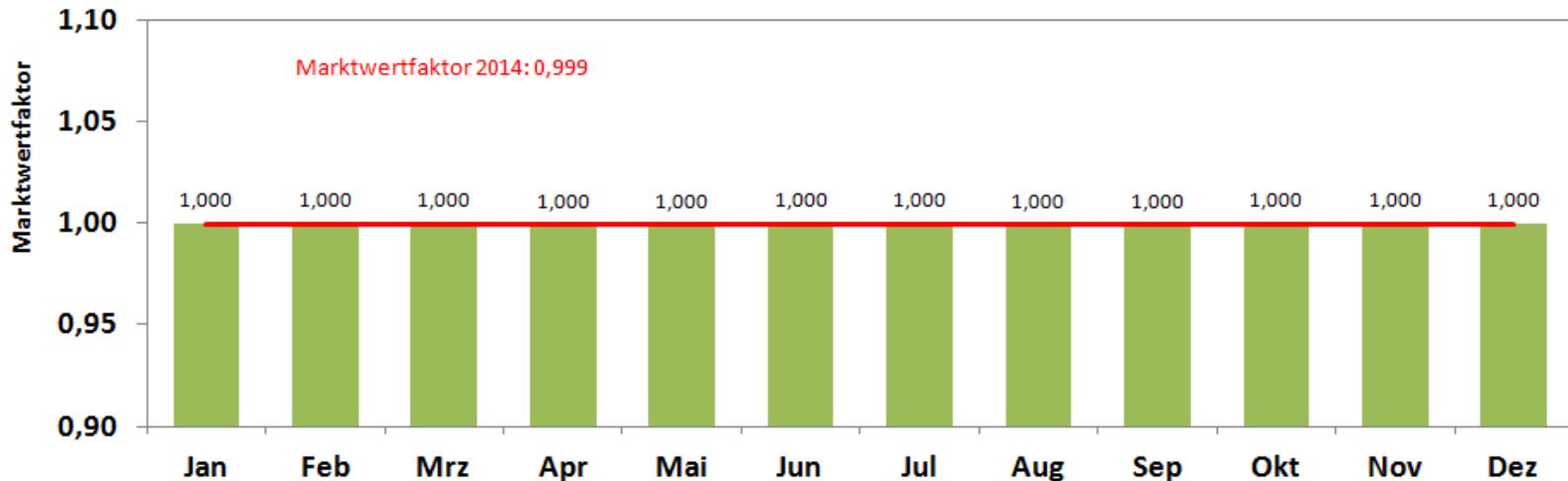


Jahr	2014	2015	2016	2017	2018
MWF Wind Offshore	0,918	0,907	0,902	0,900	0,902

- ▶ Unterjährige Volatilität der Marktwertfaktoren, aufgrund der weniger volatilen Einspeisung nicht so stark ausgeprägt wie bei Wind Onshore
- ▶ Hauptgründe: ‚Preis-Rückkopplung‘ (vgl. Folie 9), Korrelation mit Wind-Onshore-Einspeisung (z. B. im Dezember verhältnismäßig hoch)
- ▶ Abnehmender jährlicher Marktwertfaktor in den kommenden Jahren (sehr geringe Erhöhung 2018, unmittelbare Erklärung hierfür schwierig, da die Struktur der stündlichen Strompreise unter anderem von der Einspeisung der anderen EE-Technologien beeinflusst wird)

Prognostizierte Marktwertfaktoren

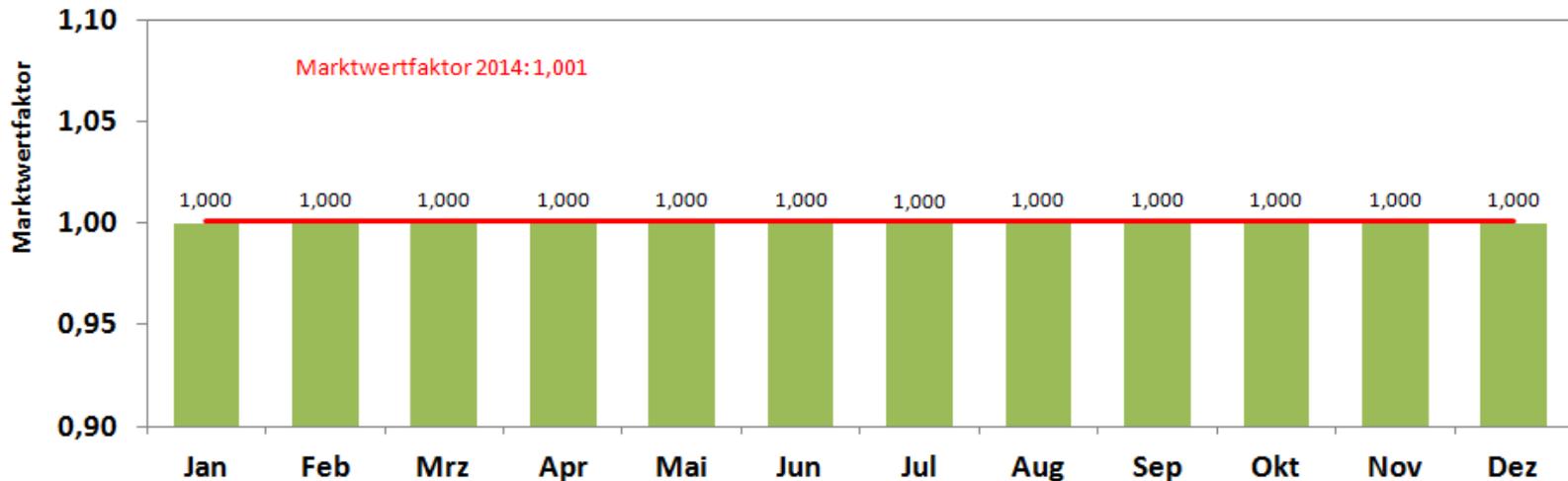
Wasser



Jahr	2014	2015	2016	2017	2018
MWF Wasser	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000

- ▶ Weitestgehend konstante unterjährige Marktwertfaktoren
- ▶ Marktwertfaktoren auch über die kommenden Jahre hinweg konstant
- ▶ Grund: Über den Zeitverlauf kaum Schwankungen in der Einspeisung

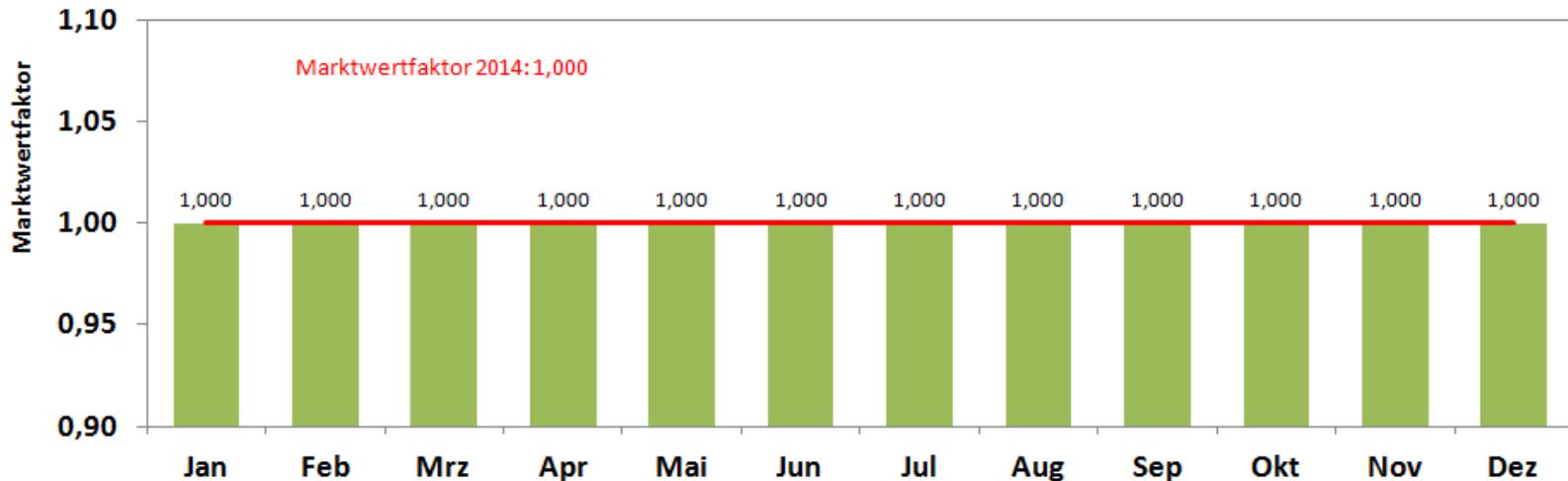
Prognostizierte Marktwertfaktoren Geothermie



Jahr	2014	2015	2016	2017	2018
MWF Geothermie	1,001	1,000	1,000	1,000	1,000

- ▶ Weitestgehend konstante unterjährige Marktwertfaktoren
- ▶ Marktwertfaktoren auch über die kommenden Jahre hinweg konstant
- ▶ Grund: Über den Zeitverlauf kaum Schwankungen in der Einspeisung

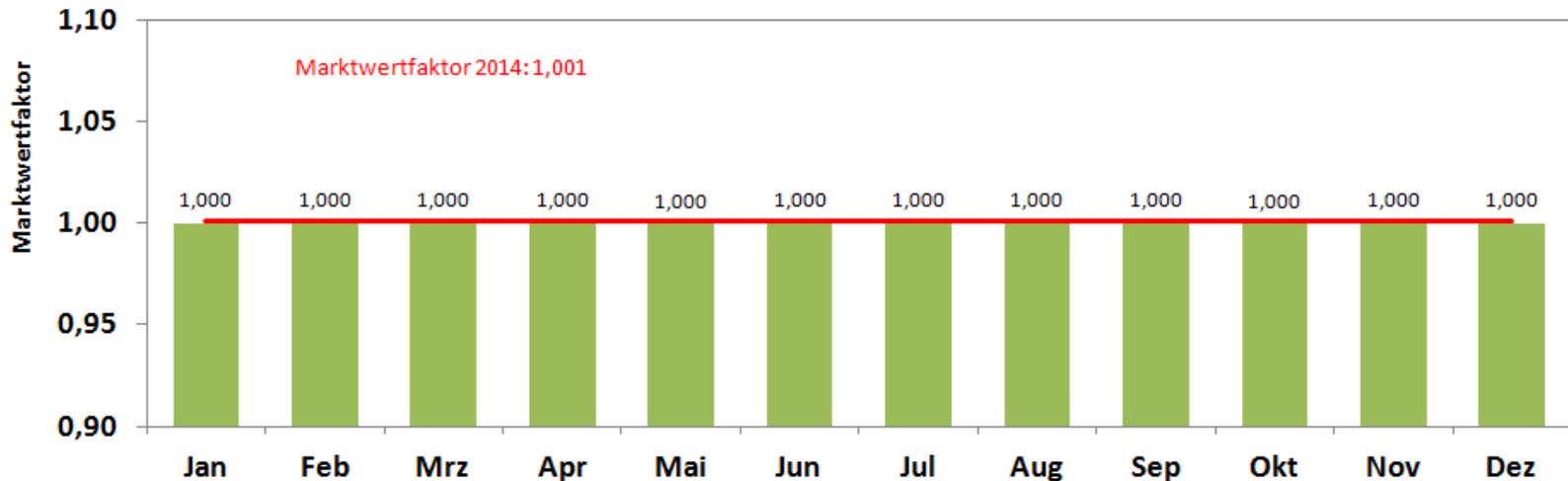
Prognostizierte Marktwertfaktoren Biomasse



Jahr	2014	2015	2016	2017	2018
MWF Biomasse	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

- ▶ Weitestgehend konstante unterjährige Marktwertfaktoren
- ▶ Marktwertfaktoren auch über die kommenden Jahre hinweg konstant
- ▶ Grund: Über den Zeitverlauf kaum Schwankungen in der Einspeisung

Prognostizierte Marktwertfaktoren Gase

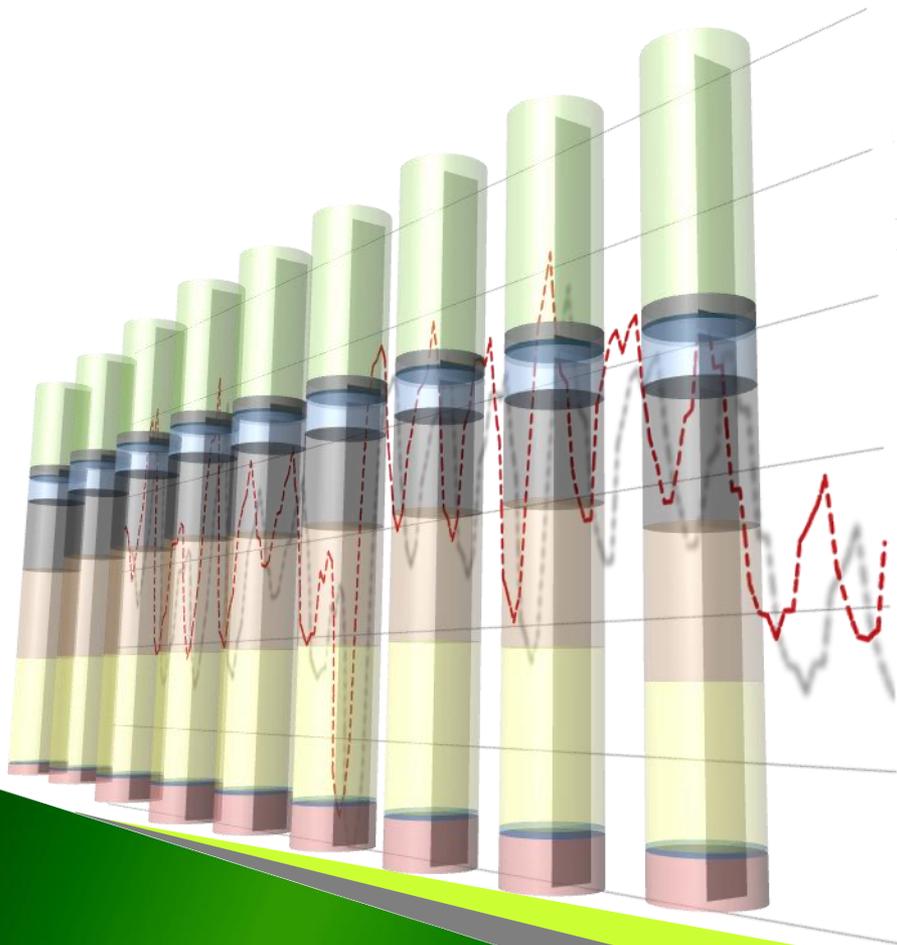


Jahr	2014	2015	2016	2017	2018
MWF Gase	1,001	1,002	1,002	1,001	1,001

- ▶ Weitestgehend konstante unterjährige Marktwertfaktoren
- ▶ Marktwertfaktoren auch über die kommenden Jahre hinweg konstant
- ▶ Grund: Über den Zeitverlauf kaum Schwankungen in der Einspeisung

Übersicht über die prognostizierten jährlichen Marktwertfaktoren

Jahr	Photo- voltaik	Wind Onshore	Wind Offshore	Wasser- kraft	Geo- thermie	Biomasse	Gase
2014	1,011	0,851	0,918	0,999	1,001	1,000	1,001
2015	0,992	0,845	0,907	1,000	1,000	1,000	1,002
2016	0,977	0,842	0,902	1,000	1,000	1,000	1,002
2017	0,963	0,838	0,900	1,000	1,000	1,000	1,001
2018	0,948	0,841	0,902	1,000	1,000	1,000	1,001



r2b energy consulting GmbH

Zollstockgürtel 61
50968 Köln

info@r2b-energy.com

<http://www.r2b-energy.com>