Gefördert durch: Förderinitiative Integriertes Strommarktdesign der Gesellschaft zur Förderung des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln e.V.

Analyse

Bewertung von energiebegrenzten Flexibilitäten in Kapazitätsmechanismen

Merit Dressler, Arne Lilienkamp, Julian Keutz, Dr. Lisa Just, Jun.-Prof. Dr. Oliver Ruhnau

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI) gGmbH

02.07.2026

Inhaltsverzeichnis

1. Executive Summary
2. Einleitung
3. Ansätze zur Bestimmung von Derating-Faktoren
4. Numerisches Rechenbeispiel
5. Case Studies: UK und Belgien
6. Diskussion und Ausblick

Executive Summary

#1 Derating-Faktoren machen den Beitrag unterschiedlicher Technologien zur Versorgungssicherheit vergleichbar, indem sie die Nennleistung einer Technologie in äquivalente gesicherte Leistung umrechnen. In einem Kapazitätsmechanismus werden Derating-Faktoren auf Auktionsgebote (Preis und Menge) angewendet und sind damit essenziell für die Effektivität und Effizienz des Mechanismus.

#2 Die vorliegende Analyse definiert und vergleicht vier verschiedene Ansätze zur Bestimmung von Derating-Faktoren: das marginale und durchschnittliche Substitutionsverhältnis zwischen einer Technologie und gesicherter Leistung sowie den marginalen und durchschnittlichen Leistungsbeitrag einer Technologie in Knappheitssituationen.

#3 Am Beispiel von Batteriespeichern zeigt diese Analyse, dass der Derating-Faktor für energiebegrenzte Flexibilitäten bei allen vier Ansätzen mit zunehmender Marktdurchdringung abnimmt. Dabei führt das durchschnittliche Substitutionsverhältnis zu deutlich höheren Derating-Faktoren als die anderen Ansätze, die nahezu identische Derating-Faktoren liefern.

#4 Diese Analyse diskutiert zudem den Einfluss von imperfekter Voraussicht, Regelleistungsbedarfen und Netzrestriktionen auf Derating-Faktoren sowie deren Übertragbarkeit auf Lastflexibilitäten und Anwendung in Kapazitätsmechanismen.

© EWI 2025

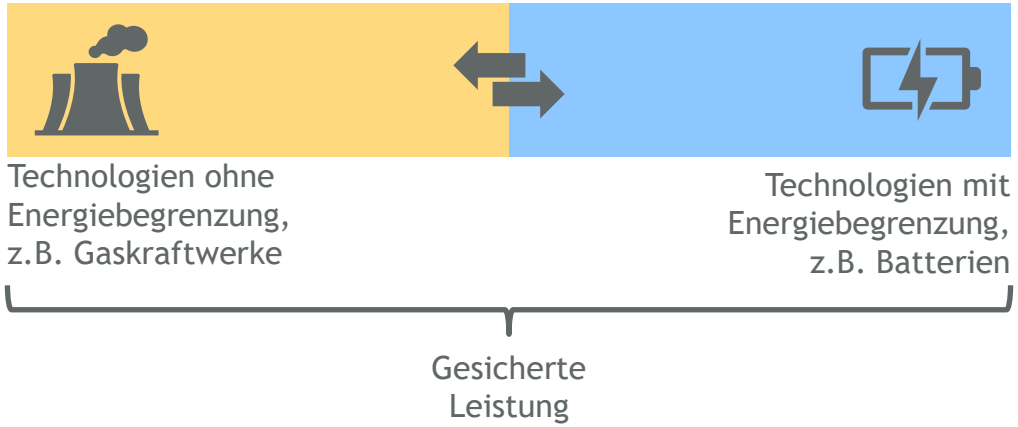
1 Einleitung

© EWI 2025

Wie können energiebegrenzte Flexibilitäten angemessen in einem Kapazitätsmechanismus berücksichtigt werden?

- Deutschland plant die Einführung eines **Kapazitätsmechanismus**, um ausreichende Investitionen in steuerbare Kapazitäten für ein angestrebtes Versorgungssicherheitsniveau zu gewährleisten.
- Der Mechanismus soll **technologieoffen und diskriminierungsfrei** ausgestaltet werden, um Versorgungssicherheit möglichst kosteneffizient zu erreichen (vgl. EU-Elektrizitätsbinnenmarktverordnung Art. 22).
- Dabei stellt sich die Frage, welchen **Beitrag energiebegrenzte Flexibilitäten** zur Versorgungssicherheit leisten können. Zum Beispiel ist ohne weitere Analyse unklar, in welchem Kapazitätsverhältnis Batterien Gaskraftwerke bei gleichbleibender Versorgungssicherheit ersetzen können.

Der Beitrag energiebegrenzter Flexibilitäten zur Versorgungssicherheit ist noch unklar



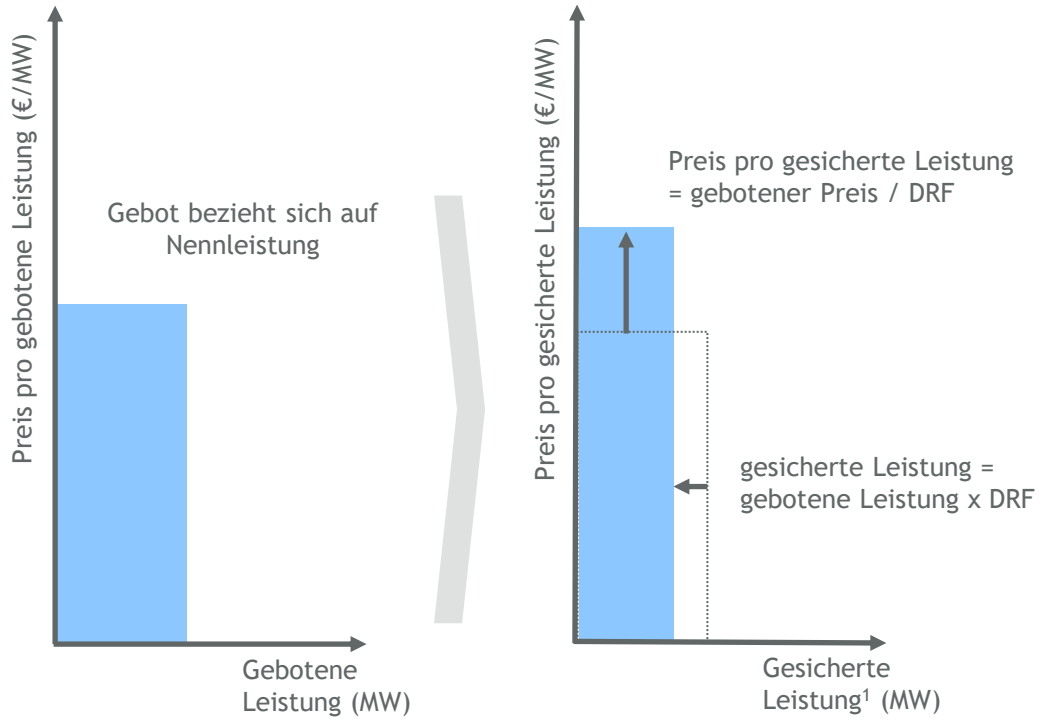
Derating-Faktoren machen den Beitrag unterschiedlicher Technologien zur Versorgungssicherheit vergleichbar

- Um den Beitrag unterschiedlicher Technologien zur Versorgungssicherheit vergleichbar zu machen, werden **Derating-Faktoren** in der Literatur diskutiert und in anderen Ländern bereits angewendet.
- Mittels Derating-Faktoren lässt sich die Nennleistung einer Technologie in **äquivalente gesicherte Leistung** umrechnen:

Äquivalente gesicherte Leistung	=	Derating-Faktor	x	Nennleistung

- **Die äquivalente gesicherte Leistung** ist dabei definiert als Kapazität, die in Zeiten von Knappheit ohne Einschränkungen zur Verfügung steht und hinsichtlich des Beitrags zur Versorgungssicherheit gleichwertig ist.
- Prinzipiell können Derating-Faktoren **zwischen null und eins** liegen, wobei neben den hier betrachteten Energiebegrenzungen zum Beispiel Ausfallwahrscheinlichkeiten die äquivalente gesicherte Leistung und damit den Derating-Faktor reduzieren.
- In Kapazitätsauktionen können Gebote, die sich auf Nennleistung beziehen, in äquivalente gesicherte Leistung umgerechnet werden, indem die gebotene Leistung mit dem Derating-Faktor multipliziert und der gebotene Preis durch den Derating-Faktor dividiert wird (siehe Abbildung).

Anwendung des Derating-Faktors auf Gebote

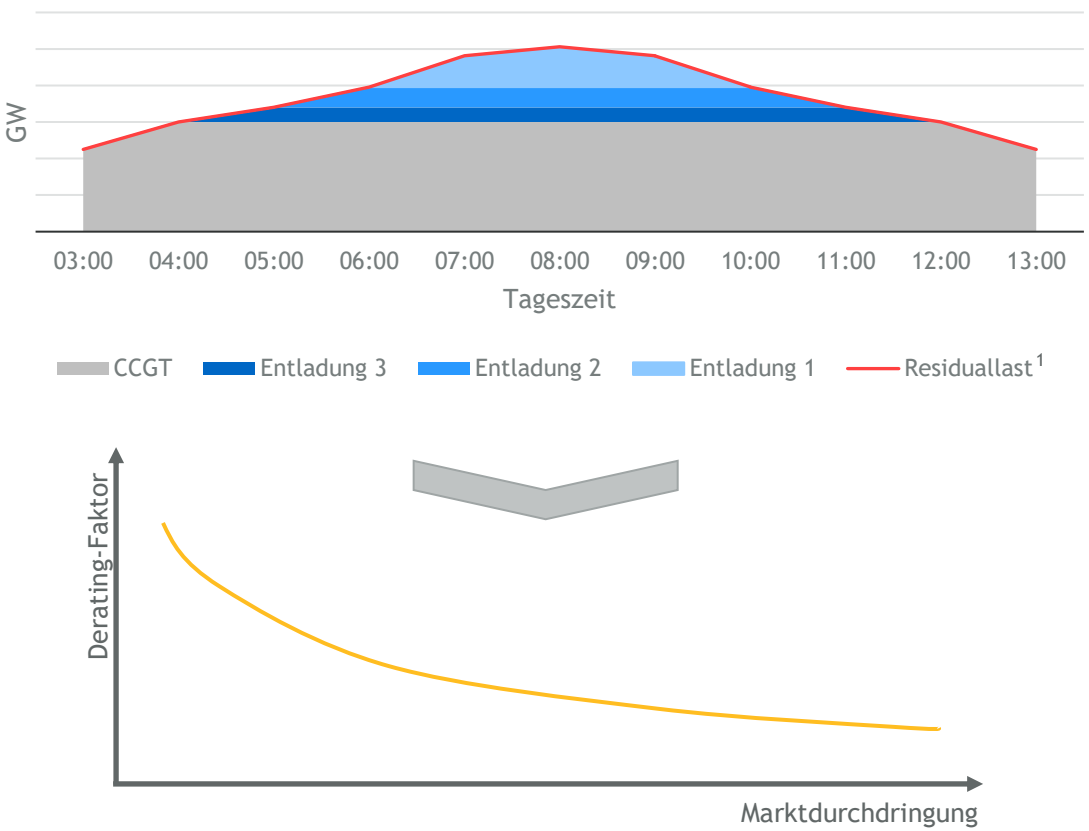


[1] Für eine bessere Lesbarkeit wird die *äquivalente* gesicherte Leistung in den Abbildungen vereinfacht als gesicherte Leistung bezeichnet.

Hypothese: Derating-Faktoren von energiebegrenzten Flexibilitäten nehmen mit zunehmender Marktdurchdringung ab

- Energiebegrenzte Flexibilitäten könnten einen **abnehmenden Grenznutzen** für die Versorgungssicherheit aufweisen:
  - Energiebegrenzte Flexibilitäten können Technologien ohne Energiebegrenzung bei gleichbleibender Versorgungssicherheit substituieren, indem sie die Residuallastspitze in Knappheitssituationen reduzieren. Das ist rechts am Beispiel von drei Batterien (Entladung) und Gaskraftwerken (CCGT) dargestellt.
  - Je größer der Marktanteil energiebegrenzter Flexibilitäten, desto länger ist der Zeitraum, über den die begrenzte Energie verteilt werden muss, um die Residuallastspitze weiter zu reduzieren. Deshalb ist im rechten Beispiel der Beitrag zur Reduktion von Gaskraftwerken der Batterien 1, 2 und 3 der Reihenfolge nach abnehmend - trotz identischer Energiebegrenzung.
  - Zwischen mehreren aufeinanderfolgenden Knappheitssituationen konkurrieren energiebegrenzte Flexibilitäten zudem möglicherweise um Regenerationsmöglichkeiten, z.B. um Verbrauch nachzuholen oder Speicher wieder zu beladen.
- Folglich sollte der **Derating-Faktor** energiebegrenzter Flexibilitäten mit zunehmender Marktdurchdringung abnehmen.

Derating-Faktor in Abhängigkeit der Marktdurchdringung[2]

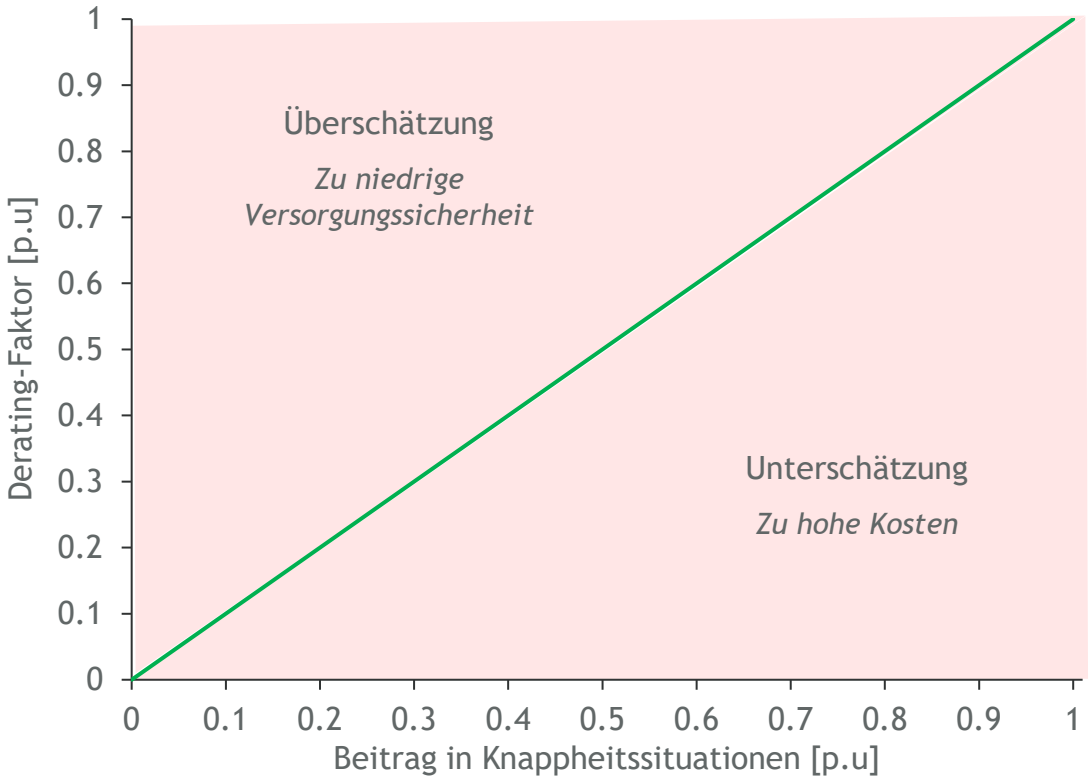


[1] Residuallast: Last abzüglich der Erzeugung aus volatilen erneuerbaren Energiequellen.

2: Nachträgliche Änderung: In der Abbildung wurde die Farbe von Entladung 1 und 3 getauscht, sodass der abnehmende Beitrag zusätzlicher Batterien zur Reduktion von Gaskraftwerken deutlich wird.

Derating-Faktoren haben Einfluss auf die Effektivität und Effizienz von Kapazitätsmechanismen

Wechselwirkungen zwischen Derating-Faktoren und ihrem tatsächlichen Beitrag in Knappheitssituationen



1: Brito-Pereira et al (2022)

- Derating-Faktoren beeinflussen sowohl den Technologiemix als auch die insgesamt kontrahierte Nennleistung in einem Kapazitätsmechanismus.
- Eine **Überschätzung von Derating-Faktoren** für energiebegrenzte Flexibilität kann zu Wohlfahrtsverlusten führen:
  - Beschaffung von ineffizient viel energiebegrenzter Flexibilität (gegenüber anderen Technologien)
  - Beschaffung von insgesamt ineffektiv wenig Nennleistung (über alle Technologien hinweg)
  - **Ineffizient und ineffektiv niedrigeres Versorgungssicherheitsniveau**
- Eine **Unterschätzung von Derating-Faktoren** für energiebegrenzte Flexibilität kann zu Wohlfahrtsverlusten führen:
  - Beschaffung von ineffizient wenig energiebegrenzter Flexibilität
  - Beschaffung von insgesamt ineffizient viel Kapazität
  - **Ineffizient hohe Kosten des Kapazitätsmechanismus**
- Eine möglichst präzise Ermittlung von Derating-Faktoren ist somit essenziell, um ein angemessenes Versorgungssicherheitsniveau kosteneffizient zu erreichen

2

Ansätze zur Bestimmung von Derating-Faktoren

© EWI 2025

Vier Ansätze zur Bestimmung von Derating-Faktoren

In dieser Analyse werden vier Ansätze zur Bestimmung von Derating-Faktoren betrachtet und miteinander verglichen.

Die Ansätze unterscheiden sich zunächst hinsichtlich der Definition von Derating-Faktoren:

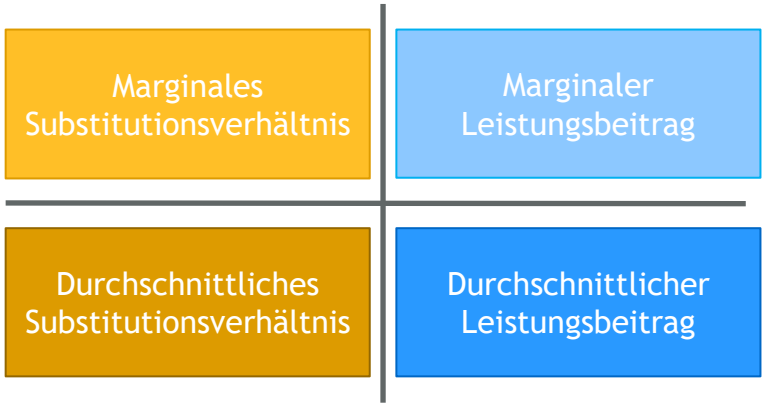
1. Als **Substitutionsverhältnis** zwischen einer Technologie und gesicherter Leistung bei gleichbleibendem Versorgungssicherheitsniveau.
2. Als **Leistungsbeitrag** einer Technologie in Knappheitssituationen.

Beide Definitionen können sich entweder auf eine *marginale* Einheit oder auf den *Durchschnitt* der gesamten Technologie beziehen:

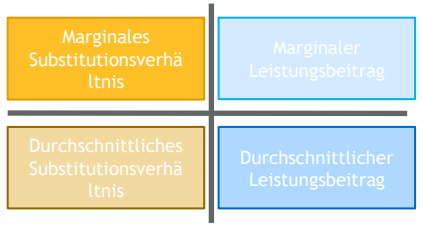
- Der **marginale Derating-Faktor** beschreibt den Leistungsbeitrag oder das Substitutionsverhältnis einer marginalen Änderung der Kapazität einer Technologie.
- Der **durchschnittliche Derating-Faktor** beschreibt den durchschnittlichen Leistungsbeitrag oder das Substitutionsverhältnis der gesamten Kapazität einer Technologie.

Die vier Ansätze werden im Folgenden nacheinander beschrieben.

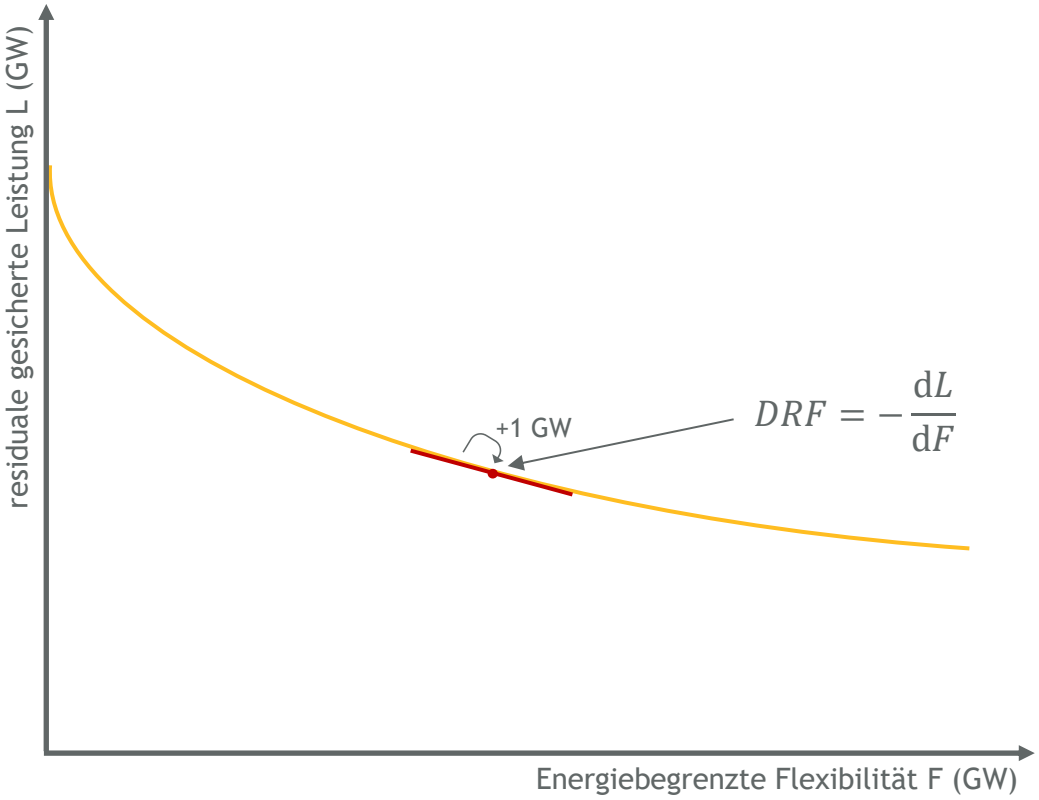
Definitionsmatrix von Derating-Faktoren



Der Derating-Faktor als marginales Substitutionsverhältnis



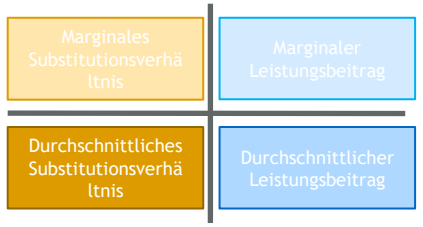
Gesicherte Leistung in Abhängigkeit energiebegrenzter Flexibilität: marginales Substitutionsverhältnis



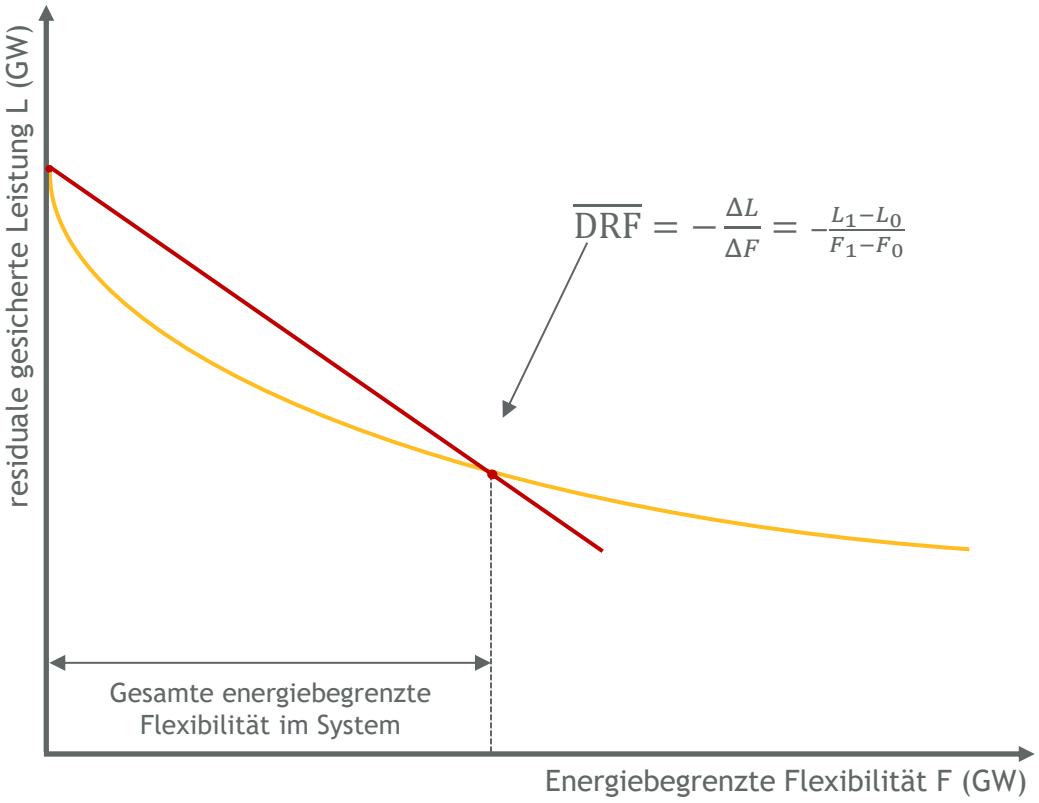
- Der **Derating-Faktor als marginales Substitutionsverhältnis** beschreibt, wie viel gesicherte Leistung eine marginale zusätzliche Kapazitätseinheit einer Technologie, z.B. einer energiebegrenzten Flexibilität, bei gleichbleibendem Versorgungssicherheitsniveau substituieren kann.
- Die Abbildung illustriert das anhand der **residualen gesicherten Leistung**, die nach Abzug energiebegrenzter Flexibilität noch für das angestrebte Versorgungssicherheitsniveau benötigt wird. Die residuale gesicherte Leistung sinkt mit zunehmender energiebegrenzter Flexibilität, wobei die absolute Steigung der Kurve aufgrund des abnehmenden Grenznutzens (Seite 7) erwartbar abnimmt.
- In der Abbildung entspricht das marginale Substitutionsverhältnis der **Steigung an einem bestimmten Punkt** auf der Kurve (hier als Tangente in rot dargestellt).
- Für verschiedene energiebegrenzte Flexibilitäten ergeben sich **technologiespezifische** marginale Substitutionsverhältnisse, z.B. für Batterien mit unterschiedlicher Dauer.

© EWI 2025

Der Derating-Faktor als durchschnittliches Substitutionsverhältnis

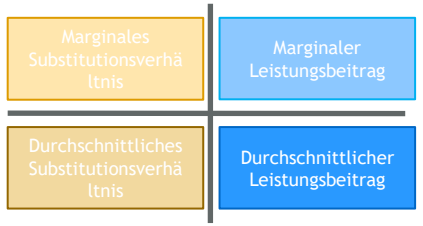


Gesicherte Leistung in Abhängigkeit energiebegrenzter Flexibilität: durchschnittliches Substitutionsverhältnis

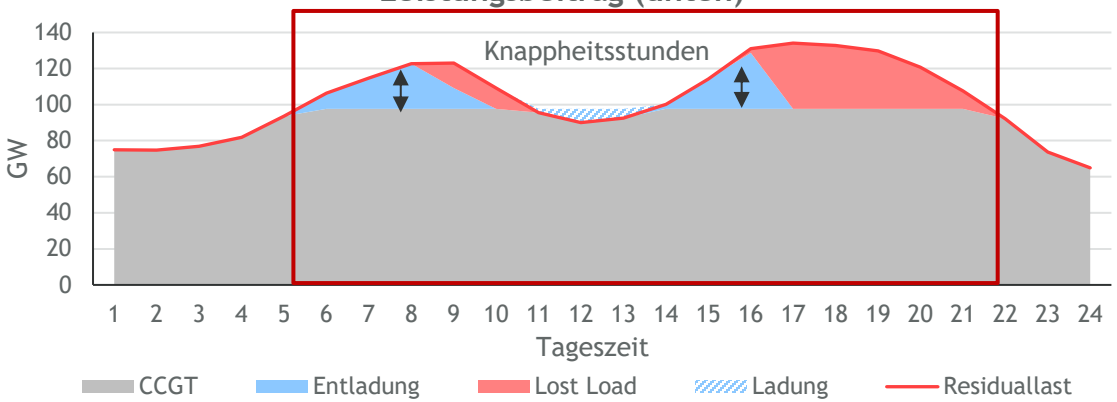


- Der **Derating-Faktor als durchschnittliches Substitutionsverhältnis** beschreibt, wie viel gesicherte Leistung die gesamte Kapazität einer Technologie, z.B. einer energiebegrenzten Flexibilität, bei gleichbleibendem Versorgungssicherheitsniveau durchschnittlich substituieren kann.
- In der Abbildung entspricht das durchschnittliche Substitutionsverhältnis der **durchschnittlichen Steigung bis zu einem bestimmten Punkt** auf der Kurve (hier als Sehne in rot dargestellt).
- Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass für energiebegrenzte Flexibilitäten das **durchschnittliche stets größer als das marginale Substitutionsverhältnis** ist (aufgrund des abnehmenden Grenznutzens).
- Das durchschnittliche Substitutionsverhältnis ist ebenfalls **technologiespezifisch.**

Der Derating-Faktor als marginaler und durchschnittlicher Leistungsbeitrag



Beispielhafter Lastgang eines kritischen Tages (oben) und zugehöriger Leistungsbeitrag (unten)[1]



Berechnung des Leistungsbeitrags

$$DRF = \frac{1}{T_{knapp}} \sum_{t \in Knapp} \frac{F_t^{\text{Entladung}} - F_t^{\text{Beladung}}}{F_t^{\text{Nenn}}}$$

$Knapp$:	Menge der Knappheitssituationen
T_{knapp}:	Gesamtlänge der Knappheitssituationen
$F_t^{\text{Entladung}}$:	Erbrachte Leistung energiebegrenzter Flexibilität
F_t^{Beladung}:	Bezogene Leistung energiebegrenzter Flexibilität
F_t^{Nenn}:	Nennleistung energiebegrenzter Flexibilität

- Der **Derating-Faktor als Leistungsbeitrag** misst, wie viel Leistung eine Technologie, z.B. eine energiebegrenzte Flexibilität, durchschnittlich in Knappheitssituationen relativ zur Nennleistung erbringt. Er kann entweder als **marginaler** Beitrag einer zusätzlichen Kapazitätseinheit oder als **durchschnittlicher** Beitrag der Gesamtkapazität einer Technologie bestimmt werden.
- Die **Definition der Knappheitssituationen** kann die Höhe des Derating-Faktors erheblich beeinflussen. Denkbar wären z.B. Definitionen anhand von Lastunterdeckung (Lost Load) oder Knappheitspreisen.
- Je nach Definition der Knappheitssituation könnten **marginaler und durchschnittlicher Leistungsbeitrag zum gleichen Ergebnis führen**. Zum Beispiel könnten (voll geladene) 2-Stunden-Batterien während einer 4-Stunden-Knappheit sowohl einen durchschnittlichen als auch einen marginalen Leistungsbeitrag von 0,5 aufweisen.
- In ähnlicher Weise könnten **Leistungsbeiträge und das marginale Substitutionsverhältnis zum gleichen Ergebnis führen**. Im zuvor genannten Beispiel könnte eine zusätzliche Batterie gesicherte Leistung im Verhältnis von 0,5 zu ihrer Nennleistung ersetzen.

1: Knappheitsstunden sind hier über Knappheitspreise definiert, sodass auch die Stunden in denen das Entladen der Batterien Lost Load verhindert als Knappheitsstunden definiert sind.

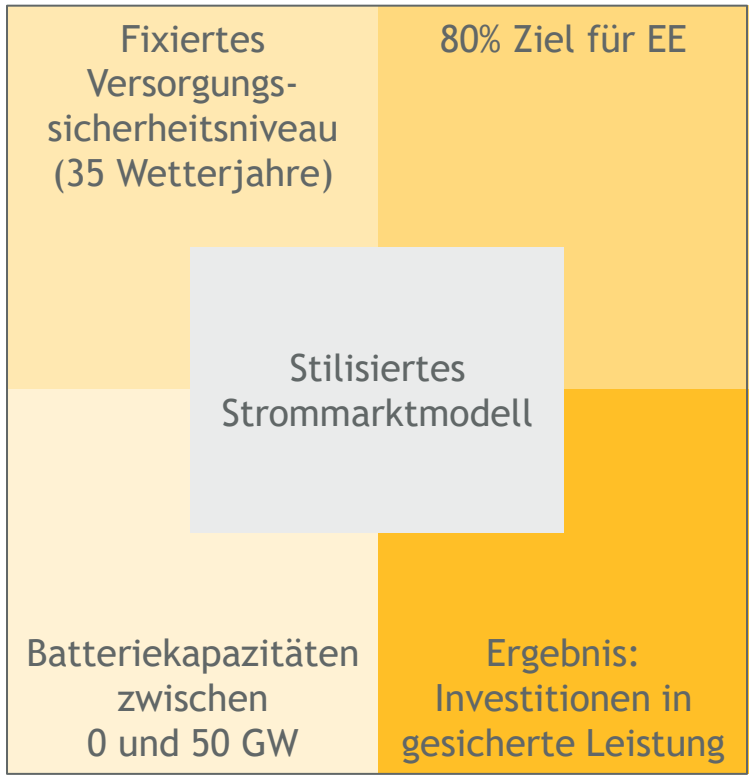
3

Numerisches Rechenbeispiel

© EWI 2025

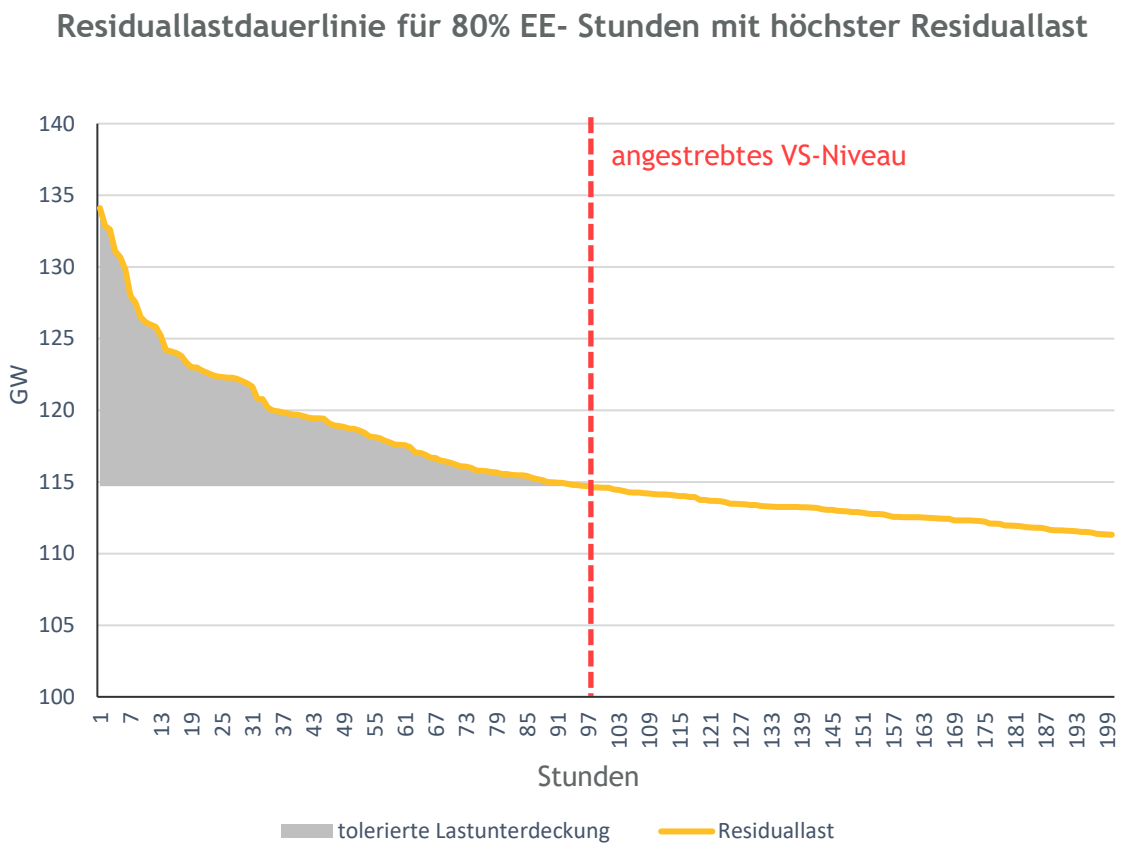
Die unterschiedlichen Derating-Faktoren werden anhand eines stilisierten Strommarktmodells untersucht

- Durchführung eines Rechenbeispiels zur quantitativen Illustration methodischer Unterschiede
  - Hieraus lassen sich keine numerisch korrekten Derating-Faktoren ableiten
- Anwendung eines stilisierten Strommarktmodells mit drei Technologie-Gruppen:
  - Volatile erneuerbare Energien (EE): Wind Onshore/Offshore, PV
  - Energiebegrenzte Flexibilitäten: Batterien
  - Konventionelle Kraftwerke: Gaskraftwerke
- Parametrierung angelehnt an einem Szenario für Deutschland im Jahr 2030:
  - Stündliche Stromnachfrage und EE-Profile des ERAA[1] für 35 Wetterjahre
  - Kapazitäten erneuerbarer Energien bemessen sich am 80%-Ziel und werden konstant gehalten
  - Batteriekapazitäten werden zwischen 0 und 50 GW variiert
  - Gaskraftwerkskapazitäten werden im Modell so bestimmt, dass ein fixiertes Versorgungssicherheitsniveau erreicht wird (siehe nächste Folie)
- Im Modell wird perfekte Voraussicht angenommen und Regelleistungsbedarfe sowie Netzrestriktionen werden nicht abgebildet. Diese Aspekte werden in Kapitel 5 diskutiert.



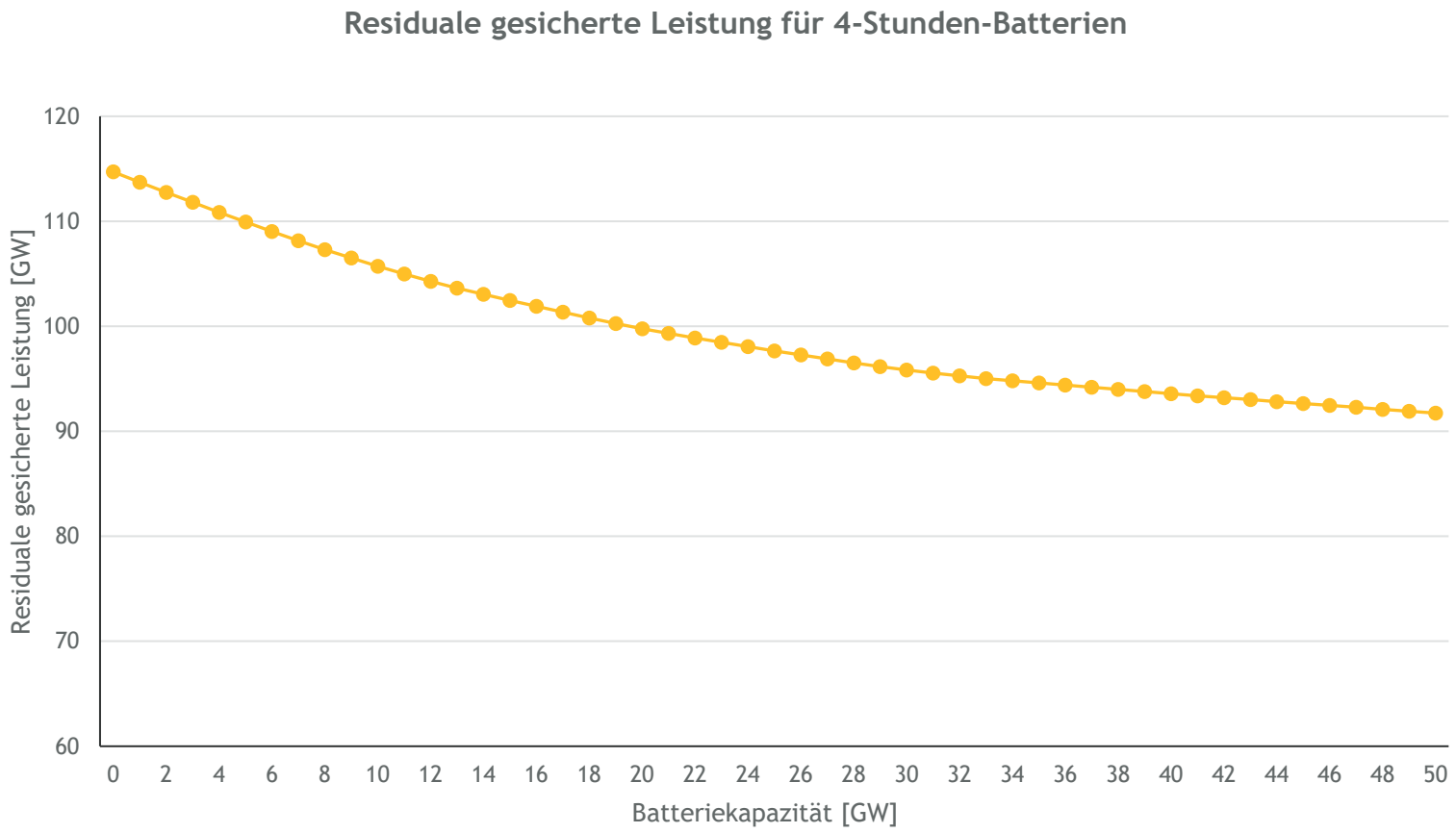
[1] European Resource Adequacy Assessment aus dem Jahr 2024. Das Niveau der Nachfrage entspricht einem Szenario für das Jahr 2030, die Profile von Nachfrage und EE entspricht historischem Wetter.

Für das Rechenbeispiel wird ein Versorgungssicherheitsniveau festgelegt



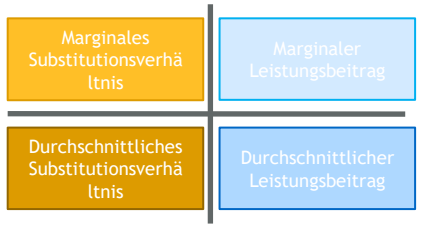
- Die Parametrierung des Versorgungssicherheitsniveaus orientiert sich an dem von Deutschland **angestrebten Versorgungssicherheitsniveau** einer erwarteten Lastunterdeckung in **2,77 Stunden pro Jahr** (Loss of Load Expectation, LOLE).
- Im numerischen Rechenbeispiel werden 35 Wetterjahre gleichzeitig abgebildet, sodass die tolerierte Anzahl Stunden mit Lastunterdeckung im Betrachtungszeitraum etwa 97 Stunden beträgt.
- Um das Rechenbeispiel zu vereinfachen, wird anstelle einer LOLE-Vorgabe, ein äquivalentes **Budget** an **tolerierter Lastunterdeckung** definiert, welches 497 GWh beträgt (Energy Not Served). Dieses wird für alle Rechnungen konstant gehalten.

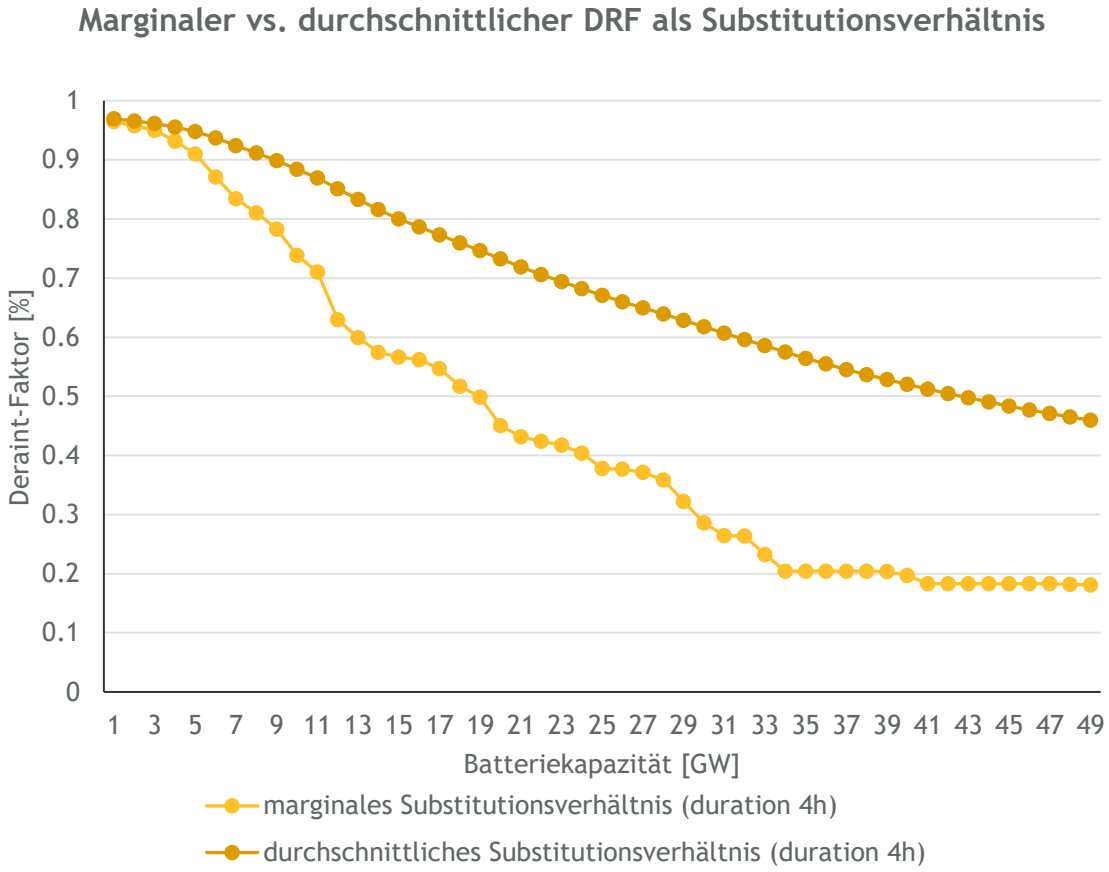
Batteriekapazitäten reduzieren den Bedarf an residualer gesicherter Leistung, allerdings mit abnehmendem Grenznutzen



- Die Abbildung zeigt den Bedarf an residualer gesicherter Leistung für 4-Stunden-Batterien über die installierte Batteriekapazität.
- Der Bedarf an residualer gesicherter Leistung sinkt mit zunehmender Marktdurchdringung der Batterien, wobei die Steigung abnimmt:
  - Die ersten 10 GW Batterien reduzieren die residuale gesicherte Leistung um 9 GW
  - Die nächsten 10 GW reduzieren die gesicherte Leistung nur noch um weitere 6 GW
  - 50 GW Batterien reduzieren die gesicherte Leistung um insgesamt 23 GW

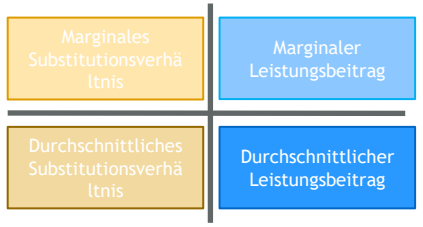
Marginales und durchschnittliches Substitutionsverhältnis divergieren mit zunehmender Batteriekapazität erheblich

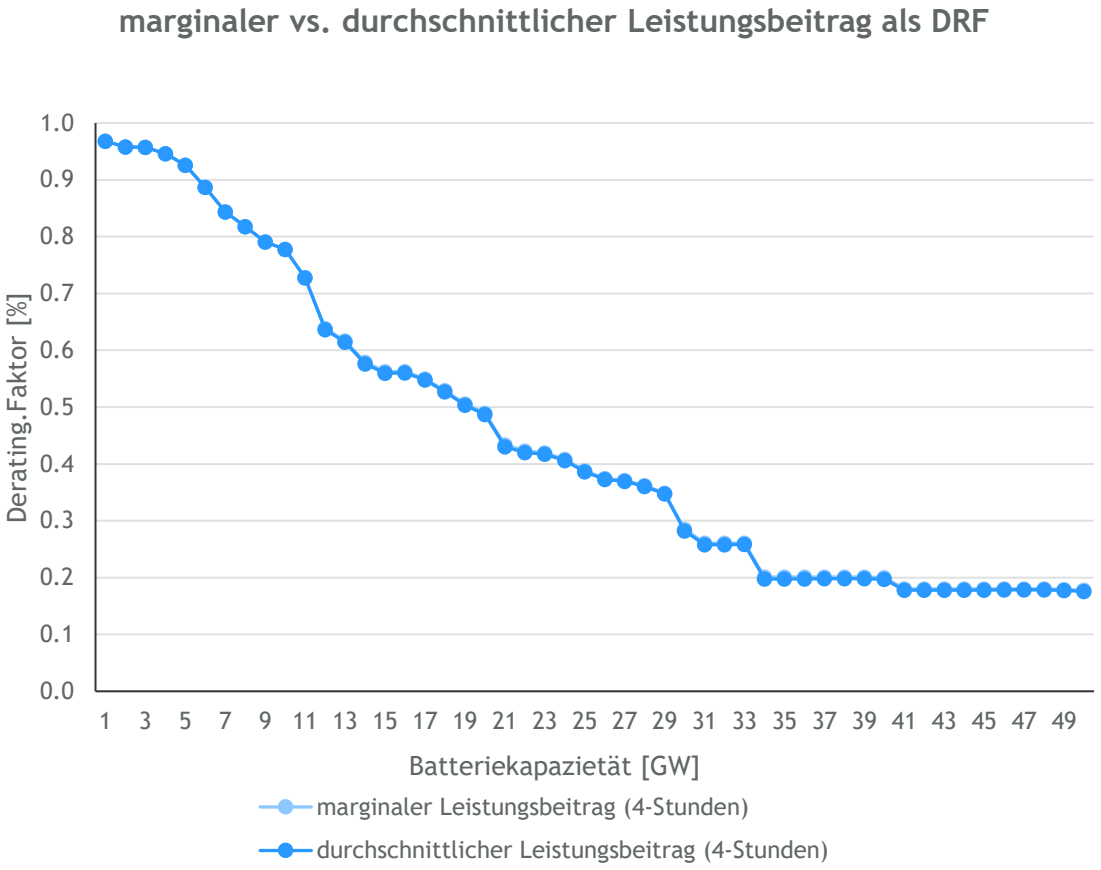




- Die Abbildung zeigt den marginalen und den durchschnittlichen Derating-Faktor als Substitutionsverhältnis für 4-Stunden-Batterien über die installierte Batteriekapazität.
- Der marginale Derating-Faktor sinkt stufenförmig, bis er ein Sättigungsniveau erreicht (bei ca. 20%). Der durchschnittliche Derating-Faktor sinkt weniger stark und kontinuierlicher.
- Mit zunehmender Batteriekapazität divergieren marginales und durchschnittliches Substitutionsverhältnis erheblich:
  - 20% Abweichung bei 10 GW
  - 60% Abweichung bei 20 GW
  - Mehr als 100% Abweichung bei 30 GW
- Ob Derating-Faktoren als marginales oder durchschnittliches Substitutionsverhältnis ermittelt werden, hat also einen erheblichen Einfluss auf die quantitativen Ergebnisse.

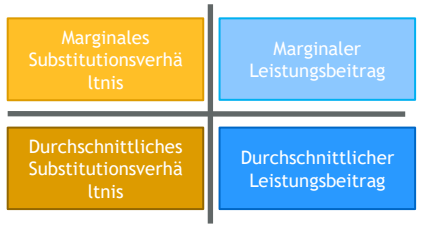
Marginaler und durchschnittlicher Leistungsbeitrag liefern identische Ergebnisse

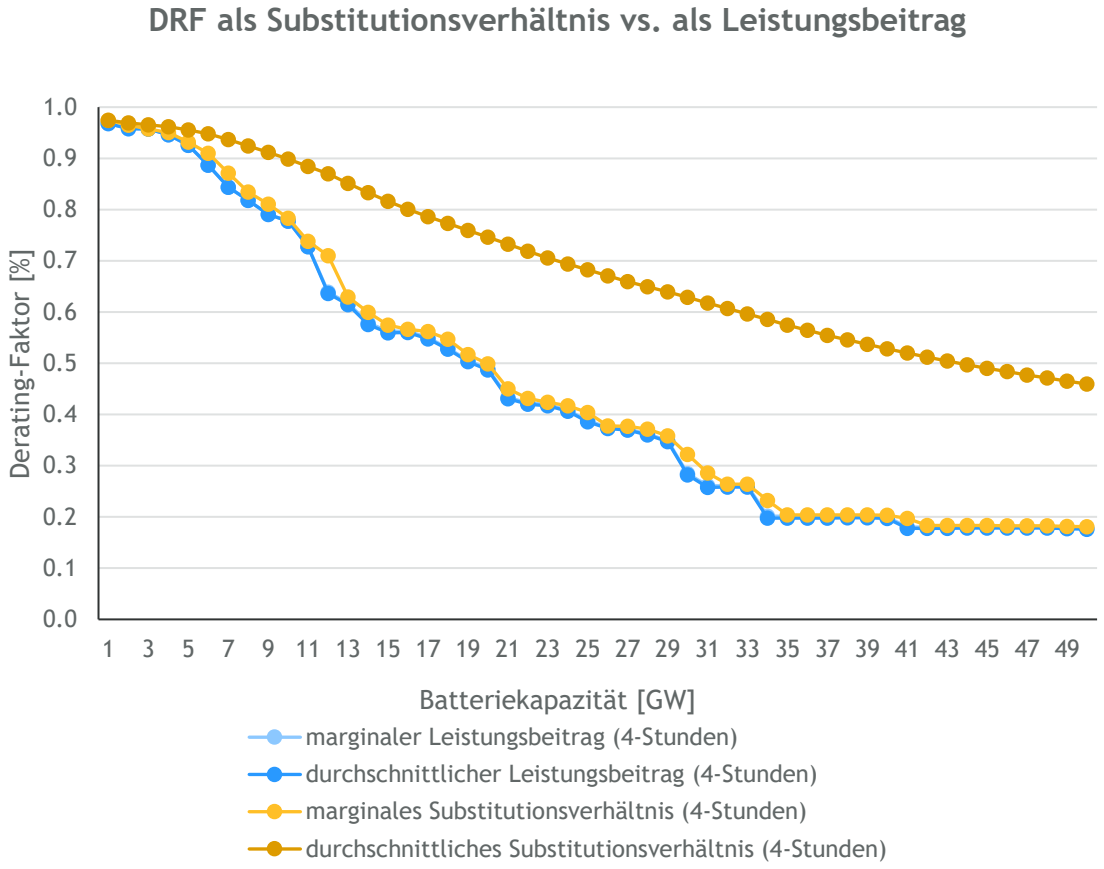




- Die Abbildung zeigt den Derating-Faktor als marginalen und durchschnittlichen Leistungsbeitrag in Knappheitssituationen für 4-Stunden-Batterien über die installierte Batteriekapazität.
- Knappheitssituationen wurden hierfür in beiden Fällen über Knappheitspreise definiert, also Preise über den Erzeugungskosten von Gaskraftwerken zzgl. Effizienzverluste der Batterien.
- Marginaler und durchschnittlicher Leistungsbeitrag verlaufen identisch: Sie sinken beide monoton, bis sie ein Sättigungsniveau bei ca. 20% erreichen.
- Ob Derating-Faktoren als marginaler oder durchschnittlicher Leistungsbeitrag ermittelt werden, hat im hier untersuchten Beispiel also keinen Einfluss auf die quantitativen Ergebnisse.
- Eine Verallgemeinerung erscheint jedoch nicht ohne Weiteres zulässig: Für andere Definitionen von Knappheitssituationen können sich die Leistungsbeiträge unterscheiden.

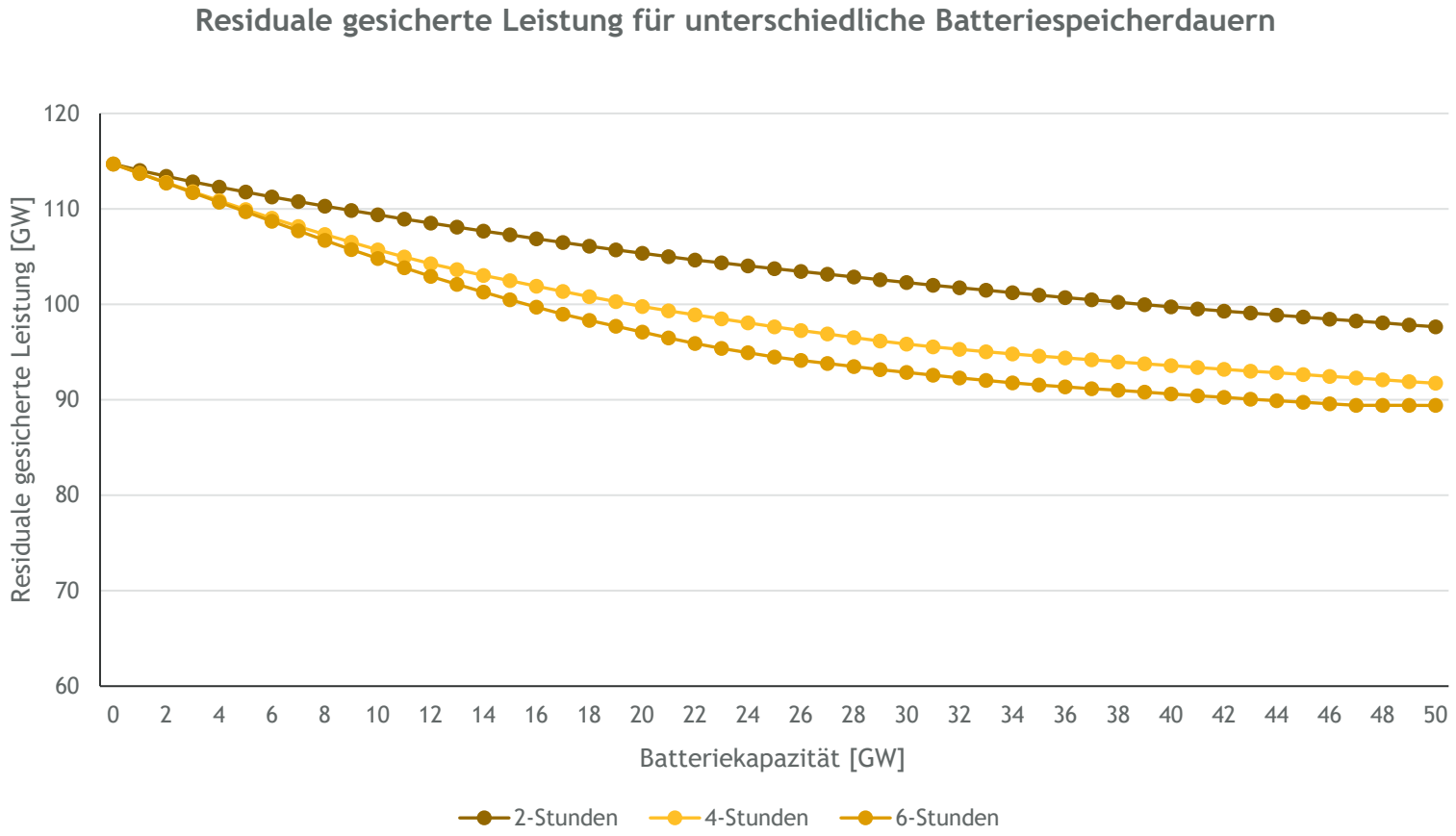
Der Leistungsbeitrag ist niedriger und schwankt stärker als das Substitutionsverhältnis





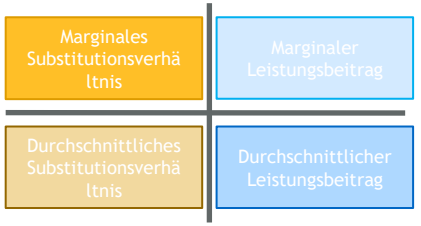
- Die Abbildung zeigt die Derating-Faktoren definiert als Substitutionsverhältnis und als Leistungsbeitrag für 4-Stunden-Batterien im Vergleich.
- Die Derating-Faktoren als Leistungsbeitrag und das marginale Substitutionsverhältnis verlaufen in diesem Rechenbeispiel nahezu identisch, während das durchschnittliche Substitutionsverhältnis durchgehend über den verbleibenden Derating-Faktoren liegt und weniger stark abfällt.
- Eine Verallgemeinerung erscheint jedoch nicht ohne Weiteres zulässig: Für andere Definitionen von Knappheitssituationen können die Ansätze zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.
- Die folgenden Sensitivitäten bezüglich Speicherdauern fokussieren sich auf Substitutionsverhältnisse und lassen Leistungsbeiträge wegen der Ähnlichkeit mit dem marginalen Substitutionsverhältnis sowie der Ambiguität bei der Definition von Knappheitssituationen außen vor.

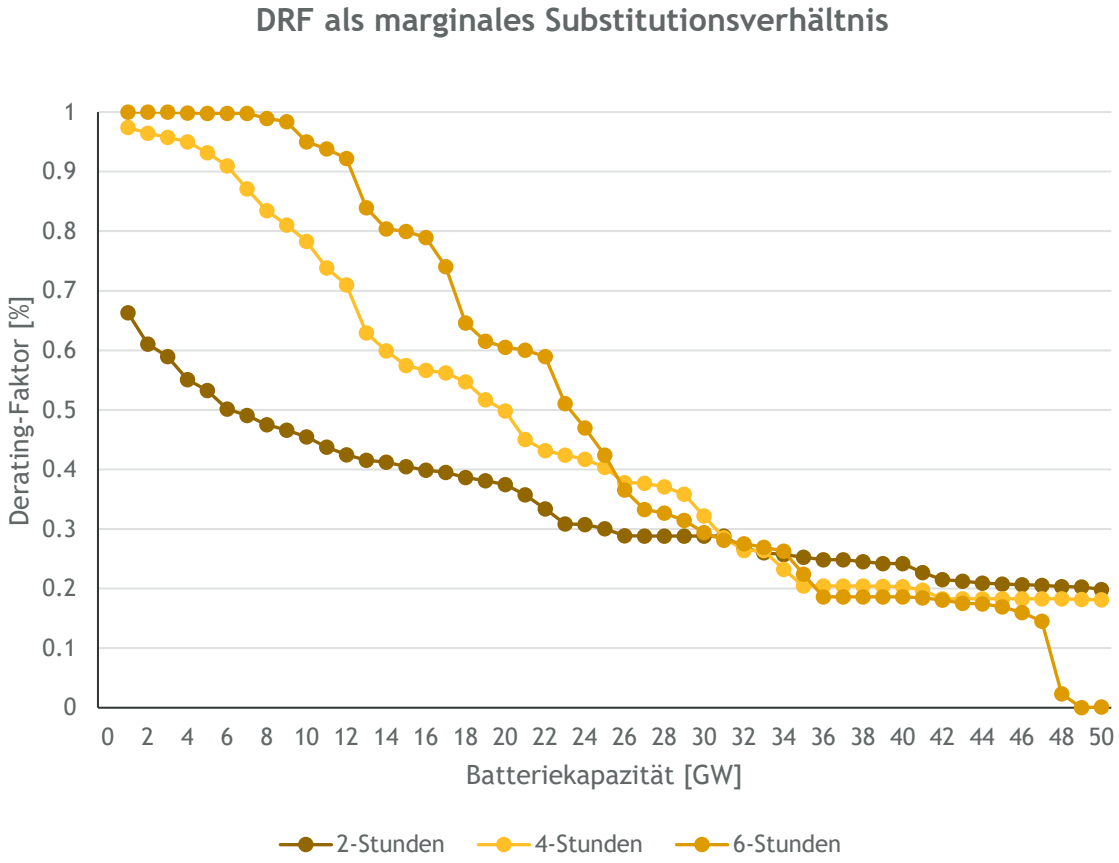
Mit zunehmender Speicherdauer der Batterien sinkt der Bedarf an residualer gesicherter Leistung



- Die Abbildung zeigt den Bedarf an residualer gesicherter Leistung für unterschiedlicher Batteriekapazitäten und unterschiedlichen Speicherdauern (2, 4 und 6 Stunden) der Batterien im System.
- Über alle Speicherdauern sinkt der Bedarf an residualer gesicherter Leistung mit zunehmender Marktdurchdringung der Batterien, und es zeigt sich ein abnehmender Grenznutzen.
- Insbesondere bei 6-Stunden-Batterien ändert sich die residuale gesicherte Leistung bei hohen Batteriekapazitäten kaum noch.

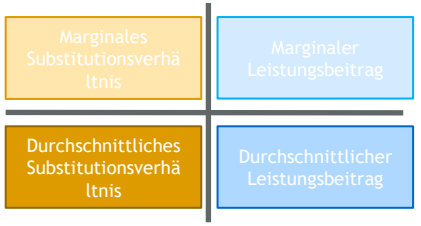
Der Derating-Faktor als marginales Substitutionsverhältnis im Vergleich für unterschiedliche Speicherdauern

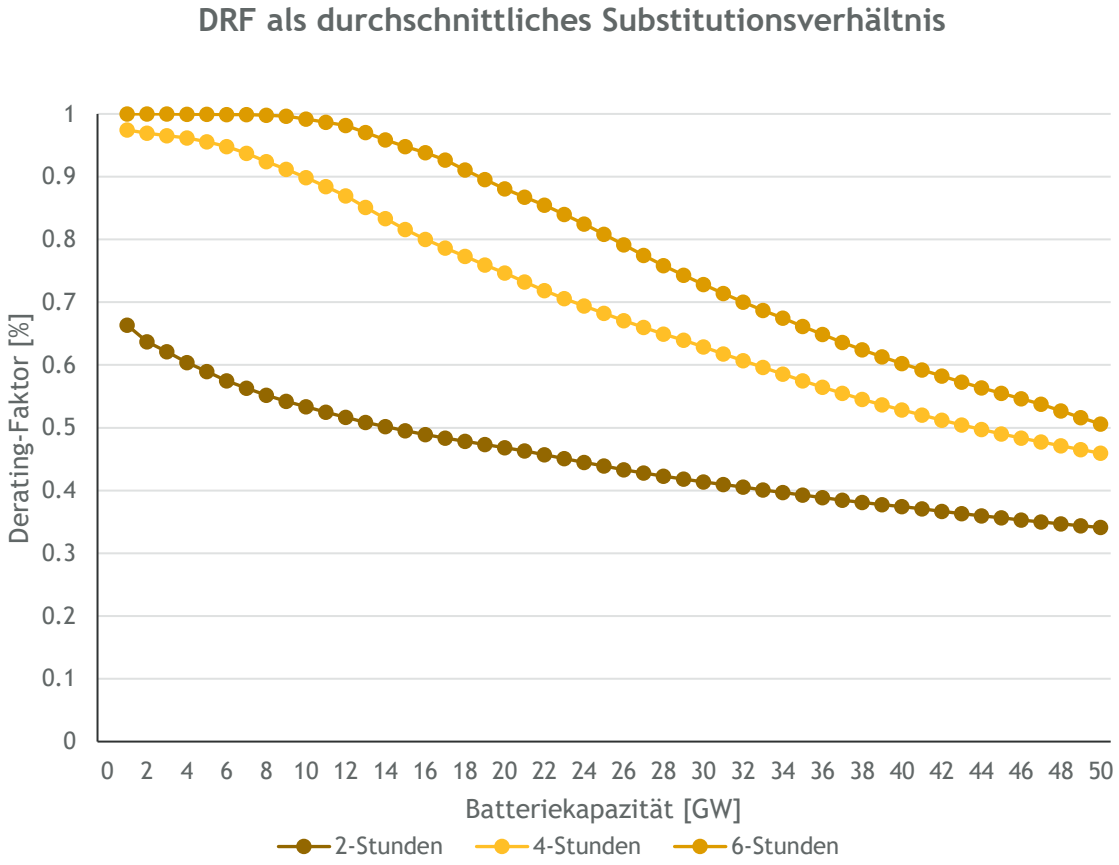




- Die Abbildung zeigt den Derating-Faktor als marginales Substitutionsverhältnis für verschiedene Batteriespeicherdauern.
- 6-Stunden-Batterien leisten bei geringen Batteriekapazitäten im System den größten marginalen Beitrag zur Versorgungssicherheit. Ab ca. 8 GW vorhandene Batteriekapazität im System fällt der Derating-Faktor stark ab und ist ab ca. 48 GW nahe null. Dies lässt sich durch die bei hohen Batteriekapazitäten sehr flache Kurve der residualen gesicherten Leistung (siehe vorherige Folie).
- 2-Sunden-Batterien leisten im Vergleich einen geringeren Beitrag zur Versorgungssicherheit, jedoch fällt ihr Derating-Faktor mit zunehmender Batteriekapazität weniger steil ab.

Der Derating-Faktor als durchschnittliches Substitutionsverhältnis im Vergleich für unterschiedliche Speicherdauern





- Die Abbildung zeigt den Derating-Faktor als durchschnittliches Substitutionsverhältnis für verschiedene Batteriespeicherdauern.
- Die Gesamtkapazität der 6-Stunden-Batterien leistet im Vergleich mit 2- und 4-Stunden-Batterien den größten durchschnittlichen Beitrag zur Versorgungssicherheit und wird ab ca. 10 GW gederatet.
- 2-Stunden-Batterien leisten den geringsten Beitrag zur Versorgungssicherheit. Ihr Derating-Faktor startet auf einem niedrigeren Niveau und fällt weniger steil ab.

4

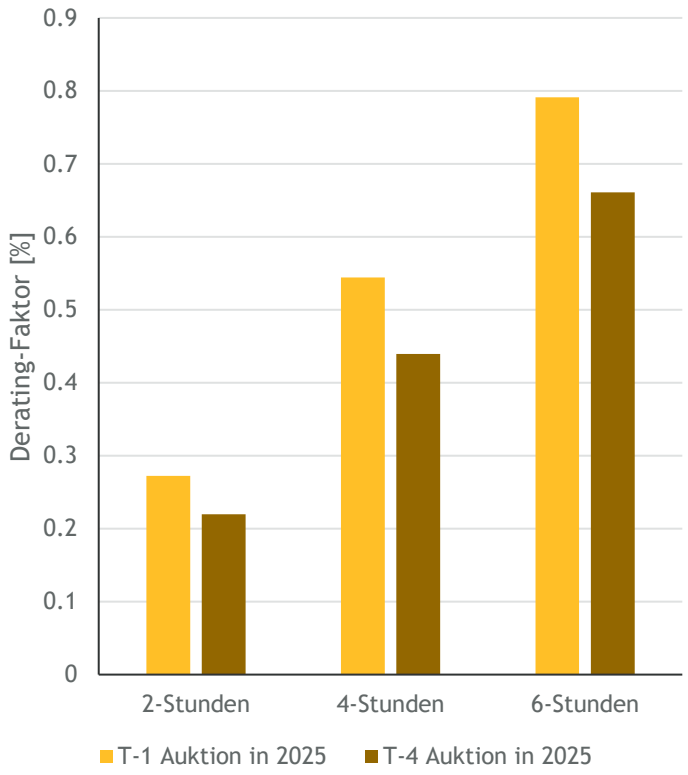
Case Studies: UK und Belgien

© EWI 2025

Die Berechnung der Derating-Faktoren im britischen Kapazitätsmarkt ähnelt dem marginalen Substitutionsverhältnis

- Im britischen Kapazitätsmechanismus wird die **Incremental Equivalent Firm Capacity (EFC)-Methode**[1] auf Speicher mit einer Speicherdauer von 6-Stunden oder weniger angewendet. Diese Methode ähnelt dem Ansatz des **marginalen Substitutionsverhältnisses**. Basierend auf einer Modellsimulation und einem Inputszenario wird der Bedarf an zu beschaffender gesicherter Leistung ermittelt. Zusätzlich werden technische Nichtverfügbarkeiten berücksichtigt.
- Die Abbildung zeigt die Derating-Faktoren der letzten Kapazitätsauktionen. Die geringeren Derating-Faktoren sind **in der T-4-Auktion niedriger als in der T-1-Auktion**, was den **abnehmenden Grenznutzen** energiebegrenzter Flexibilität bei steigender Marktdurchdringung widerspiegelt.
- Aktuell wird zudem eine Skalierung der äquivalenten gesicherten Leistung aller Speichertechnologien mittels der sogenannten **Storage Fleet EFC-Methode** diskutiert[2]. Die Storage Fleet EFC ähnelt dem Ansatz des **durchschnittlichen Substitutionsverhältnisses,** bezieht sich allerdings auf die gesicherte Leistung aller Speicherdauern.
- Hintergrund der Diskussion ist, dass bei der Anwendung des inkrementell (bzw. marginal) ermittelten Derating-Faktors auf alle Speichergebote der durchschnittliche Beitrag – und damit auch der Gesamtbeitrag – aller Speicher[3] zur gesicherten Leistung unterschätzt wird.

Derating-Faktoren[3]

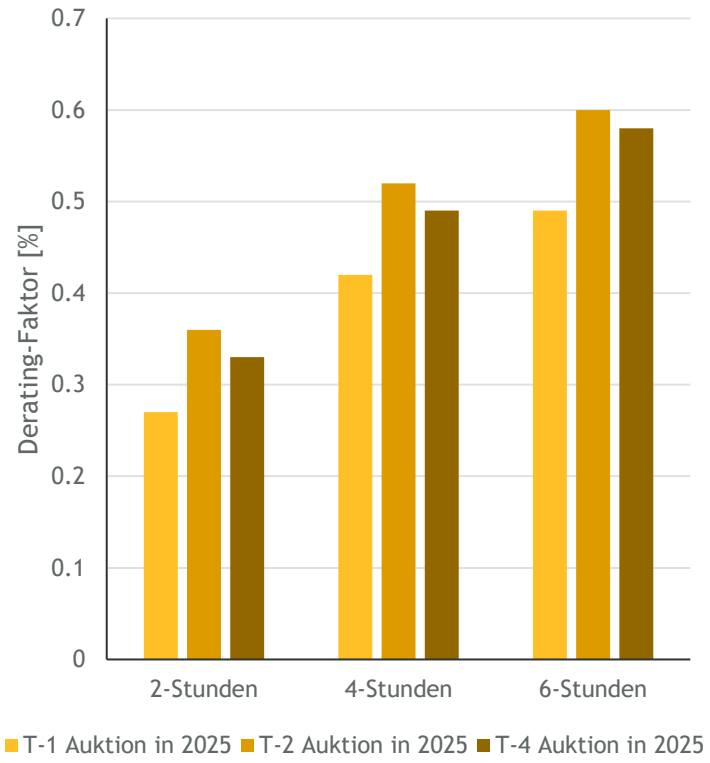


1: ESO (2023) | 2: ESO (2024) | 3: NESO (2025)

Die Berechnung der Derating-Faktoren im belgischen Kapazitätsmarkt entspricht dem marginalen Leistungsbeitrag

- Der belgische Derating-Faktor für energiebegrenzte Flexibilitäten[2] wird als marginaler Leistungsbeitrag berechnet, also als Beitrag einer marginalen zusätzlichen Kapazitätseinheit einer Technologie zur Lastdeckung in Knappheitssituationen.
- Dabei werden folgende Annahmen getroffen:
  - Knappheitssituationen werden definiert als Situationen, in denen die Summe der verfügbaren Kapazität auf dem Markt und der Importe aus den Nachbarstaaten nicht oder gerade so ausreicht, um die Stromnachfrage zu decken. Eine gerade so ausreichende Kapazität bedeutet, in jede zusätzliche Laststeigerung zu einer erhöhten Lastunterdeckung (Energy Not Served) führen würde.
  - Der Batterieeinsatz wird so optimiert, dass Batterien in Knappheitssituationen maximal zur Versorgungssicherheit beitragen (und dadurch Lastunterdeckung minimieren).
- Die Abbildung zeigt die resultierenden Derating-Faktoren der letzten Kapazitätsauktionen. Anders als die britischen Derating-Faktoren fallen die belgischen Derating-Faktoren nicht für entferntere Lieferjahre. Der abnehmende Grenznutzen wird hier anscheinend von anderen Faktoren in der Simulation überlagert (angenommene Entwicklungen für Last, EE-Erzeugung und Kapazitätsmix).

Derating-Faktoren[1]



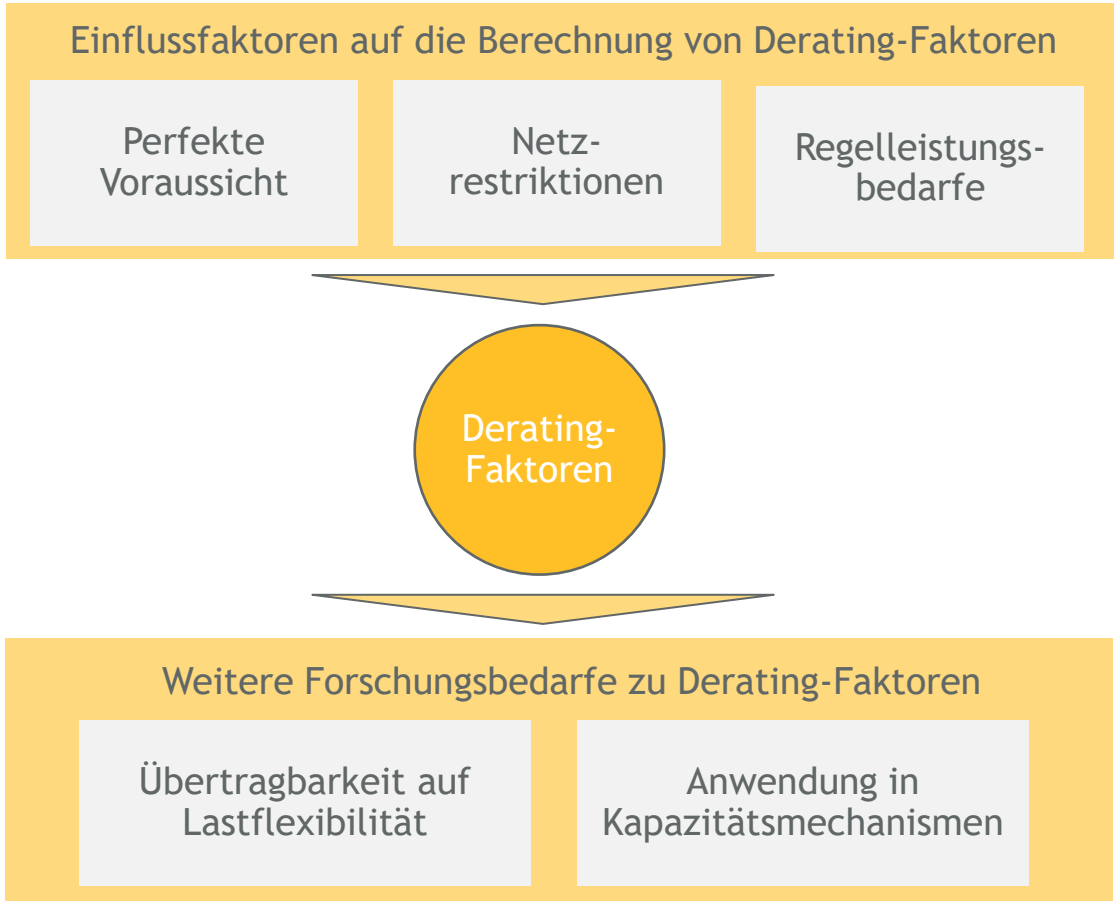
1: Elia (2024) | 2: Elia (2019)

5 Diskussion und Ausblick

© EWI 2025

Dieser Abschnitt diskutiert weitere Einflussfaktoren auf Derating-Faktoren sowie weitere Forschungsbedarfe

- Im numerischen Rechenbeispiel dieser Analyse wurden einige **vereinfachende Annahmen** getroffen. Insbesondere wurde perfekte Voraussicht angenommen und Regelleistung sowie Netzrestriktionen vernachlässigt.
- Auf den folgenden Seiten werden vor diesem Hintergrund **imperfekte Voraussicht, Regelleistung und Netzrestriktionen** als weitere relevante Einflussfaktoren auf Derating-Faktoren diskutiert.
- Darüber hinaus werden auf Grundlage unserer Analyse Forschungsbedarfe hinsichtlich der **Anwendung von Derating-Faktoren in Kapazitätsauktionen** sowie der **Übertragbarkeit auf Lastflexibilitäten** diskutiert.
- Diese Diskussionen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Vielmehr sind weitere Analysen notwendig, um definitive Aussagen zu den weiteren Einflussfaktoren auf und zur Anwendung von Derating-Faktoren zu treffen.



Imperfekte Voraussicht kann die Derating-Faktoren energiebegrenzter Flexibilitäten reduzieren

- In der vorliegenden Analyse wird **perfekte Voraussicht** angenommen:
  - Dadurch wird der Einsatz energiebegrenzter Flexibilitäten auf eine größtmögliche Lastdeckung in Knappheitssituationen ausgerichtet.
- Tatsächlich könnte **imperfekte Voraussicht** den Beitrag energiebegrenzter Flexibilitäten zu Versorgungssicherheit reduzieren:
  - Weil Zeitpunkt und Dauer von Knappheitssituationen nicht perfekt vorhergesehen werden können (weder vom Regulator noch von Marktteilnehmern), könnte der Einsatz energiebegrenzter Flexibilitäten von der simulierten größtmöglichen Lastdeckung in solchen Situationen abweichen.
  - Zum Beispiel könnte eine 4-Stunden-Batterie bei einer erwarteten 2-Stunden-Knappheit bereits zuvor bei hohen Preisen zu 50% entladen. Sollte sich die Knappheit unerwartet doch über vier Stunden erstrecken, wäre der Leistungsbeitrag in dieser Knappheit nur 50% statt 100% bei perfekter Voraussicht.
- Im Ergebnis kann imperfekte Voraussicht die **Derating-Faktoren energiebegrenzter Flexibilitäten reduzieren**.
  - Weitere Analysen zur Vorhersagbarkeit von Knappheitssituationen sind notwendig, um diese Reduktion zu quantifizieren.
  - Darüber hinaus könnten auch andere intertemporale Restriktionen (z.B. Laständerungsraten) Derating-Faktoren unter imperfekter Voraussicht reduzieren (auch für Kapazitäten ohne Energiebegrenzung)

Regelleistung kann Derating-Faktoren quantitativ beeinflussen, aber sich an der Logik des Substitutionsverhältnisses orientieren

- In der vorliegenden Analyse werden **Regelleistungsbedarfe** nicht berücksichtigt.
- Tatsächlich könnte Regelleistung den **Bedarf an gesicherter Leistung** erhöhen:
  - Wenn Investitionsanreize für Regelleistung nicht ausreichend sind, erscheint eine Beschaffung dieser zusätzlichen gesicherten Leistung im Kapazitätsmechanismus sinnvoll.
  - Um Doppelvergütung zu vermeiden, könnten Erlöse aus der vortäglichen Regelleistungsauktion bei der Vergütung im Kapazitätsmechanismus berücksichtigt werden.
- Regelleistung könnte zudem den **Beitrag einzelner Technologien zur gesicherten Leistung** beeinflussen:
  - Dieser Beitrag hängt neben technologiespezifischen Eigenschaften von den Anforderungen der unterschiedlichen Regelleistungsprodukte ab.
  - Zum Beispiel kann eine 2-Stunden-Batterie i.d.R. 80% ihrer Leistung in der Primärregelleistung vermarkten[1]. Der Beitrag wäre damit größer als das in dieser Analyse ermittelte marginale Substitutionsverhältnis von maximal 0,66 (Derating-Faktor der ersten bezuschlagten Einheit).
- Die **Bestimmung von Derating-Faktoren** könnte sich trotzdem an der Logik des Substitutionsverhältnisses orientieren:
  - Dazu müsste simuliert werden, in welchem Verhältnis die jeweils marginale Einheit zur allgemeinen Lastdeckung oder zur Regelleistung beiträgt.
  - Wenn im oben genannten Beispiel die erste bezuschlagte 2-Stunden-Batterie mit ihrer gesamten Leistung Regelleistung bereitstellt, würde das marginale Substitutionsverhältnis für diese Einheit 0,8 statt 0,66 betragen.
- Weitere Analysen sind notwendig, um die quantitativen Auswirkungen der Berücksichtigung von Regelleistung auf Derating-Faktoren abzuschätzen.

1: Regelleistung Online

Netzrestriktionen können Derating-Faktoren standortabhängig reduzieren

- In der vorliegenden Analyse werden **Netzrestriktionen** nicht berücksichtigt.
- Tatsächlich könnten **Netzrestriktionen in Knappheitssituationen** den Beitrag zur Versorgungssicherheit standortabhängig reduzieren, was **bei der Bestimmung von Derating-Faktoren berücksichtigt** werden könnte:
  - Treten in Knappheitssituationen Netzengpässe zwischen dem Standort einer Kapazität und der zu deckenden Last auf, würde sich der Derating-Faktor entsprechend reduzieren – im schlimmsten Fall bis auf Null (Auftreten eines dauerhaften Engpasses in Knappheitssituationen).
  - Umgekehrt bliebe der Derating-Faktor gegenüber der Betrachtung ohne Netzrestriktionen unverändert, wenn in Knappheitssituationen keine Netzengpässe auftreten.
  - Weitere Analysen könnten diese Effekte mithilfe eines Netzmodells standortspezifisch quantifizieren.
- **Netzrestriktionen außerhalb von Knappheitssituationen** würden sich in den hier betrachteten Ansätze nicht auf Derating-Faktoren auswirken:
  - Zum Beispiel könnten neue Kapazitäten bei gleichem Beitrag zur Versorgungssicherheit je nach Standort unterschiedlich auf Redispatch-Kosten wirken.
  - In diesem Zusammenhang könnten andere Formen der Berücksichtigung innerhalb eines Kapazitätsmechanismus (z.B. über ein Bonus/Malus-System) oder außerhalb eines Kapazitätsmechanismus (z.B. über Netzentgeltsystematik) geprüft werden.

Auf unsere Analyse folgende Forschungsbedarfe zu Derating-Faktoren

Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Lastflexibilitäten

- Diese Analyse quantifiziert den Beitrag energiebegrenzter Flexibilitäten am Beispiel von Batteriespeichern.
- Auf Lastflexibilitäten können die hier vorgestellten Ansätze zur Bestimmung von Derating-Faktoren in ähnlicher Weise angewendet werden.
- Für Lastflexibilitäten mit Energiebegrenzung könnten sich in Abhängigkeit der Lastreduktionsdauern ähnliche Derating-Faktoren ergeben. Insbesondere wäre zu erwarten, dass Derating-Faktoren bei Lastflexibilitäten mit zunehmender Marktdurchdringung ebenfalls abnehmen.
- Zusätzliche Restriktionen (z.B. die Notwendigkeit, Last innerhalb einer bestimmten Zeit nachzuholen) könnten Derating-Faktoren von Lastflexibilitäten gegenüber denen von Batteriespeichern mit gleicher Speicherdauer weiter reduzieren.

Anwendung von Derating-Faktoren im Kapazitätsmechanismus

- Derating-Faktoren werden in Kapazitätsauktionen auf den Gebotspreis und die Gebotsmenge aller Technologien angewendet:
  - Vor dem Hintergrund, dass die hier betrachteten Berechnungsansätze teilweise zu sehr unterschiedliche Ergebnisse liefern, stellt sich die Frage, welcher Ansatz mit dem Ziel eines effektiven und effizienten Kapazitätsmechanismus verwendet werden sollte.
  - Sollten Gebote einer Anlage über mehrere Auktionen hinweg immer denselben Derating-Faktor erhalten (Grandfathering) oder sollte in jeder Auktion ein neuer Derating-Faktor bestimmt werden?

Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln

EWI - Eine Wissensfabrik

Das EWI ist gemeinnützig und versteht sich als Wissensfabrik mit dem Ziel, neues Wissen über zunehmend komplexe Energiemärkte zu schaffen, zu verbreiten und nutzbar zu machen.

Forschungs- und Beratungsprojekte

Das EWI forscht und berät zu zunehmend komplexen Energiemärkten – praxisnah, energieökonomisch fundiert und agenda-neutral.

Neuste volkswirtschaftliche Methoden

Das EWI analysiert den Wandel der Energiewelt mit neusten volkswirtschaftlichen Methoden und detaillierten computergestützten Modellen.

EWI Academy

Das EWI bietet Trainings zu aktuellen energiewirtschaftlichen Themen für Unternehmen, Politik, NGOs, Verbände sowie Ministerien an.

KONTAKT

Dr. Lisa Just
lisa.just@ewi.uni-koeln.de
+49 (0)221 650 745-45

https://www.ewi.uni-koeln.de

@ewi_koeln

EWI – Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln