

Industrielle Energie- flexibilität ermöglichen

Konzept einer Reform der Sonder-
netzentgelte für Großverbraucher

20. Dezember 2024



Zusammenfassung

Ergebnisse auf einen Blick

- 1 Die Stromnetzentgeltverordnung zwingt industrielle Verbraucher faktisch zu gleichmäßigem Strombezug und macht Strom für alle teurer.** Rund 400 Industriebetriebe beziehen circa 50 Prozent des deutschen Industriestrombedarfs (90 TWh Strom im Jahr) unter der sogenannten Bandlastregelung. Die Regelung ist für einzelne Unternehmen attraktiv, setzt aber für das Gesamtsystem Fehlanreize und erhöht so die Systemkosten unnötig.
- 2 Die vorgeschlagene Nachfolgeregelung baut bestehende Hemmnisse ab und honoriert Flexibilität.** Als größtes Hemmnis wird die Benutzungsstundenregel abgeschafft, die gleichmäßigen Strombezug in 7.000 oder mehr Stunden im Jahr erfordert. Schrittweise wird stattdessen die Gewährung von Sondernetzentgelten an flexibleren Strombezug gekoppelt. Messlatte ist ein Mindestmaß an Reaktion auf ein neues Entgeltsystem, das die erwartete Netzauslastung abbildet. Außerdem wird der Arbeits- gegenüber starren Leistungspreisen gestärkt.
- 3 Wird Industrie-Flexibilität genutzt, birgt dies Vorteile für Industrie und Stromsystem.** Die industriellen Potenziale zur Lastreduktion und -erhöhung über einen Zeitraum von bis zu vier Stunden entsprechen rund 20 Prozent der durchschnittlichen Last im deutschen Stromsystem. Ohne die Bandlastregelung können Industriebetriebe sparen, indem sie mehr Strom zu Zeiten günstiger Preise beziehen. Gleichzeitig sinken durch effizientere Netzauslastung die Kosten des Stromnetzes, was allen Verbrauchern zu Gute kommt.
- 4 Ein verlässlicher Transformationspfad schafft Planungssicherheit für Unternehmen und Netzbetreiber.** Anforderungen zur Flexibilitätsbereitstellung sollten sich im Einklang mit den technischen Möglichkeiten der industriellen Prozesse entwickeln. So profitieren Betriebe von einem verlässlichen Rahmen für Investitionen in Flexibilität; Netzbetreiber erhalten ein Instrument für effizienten Netzbetrieb und -ausbau. Perspektivisch bietet die Neuregelung die Grundlage für eine umfassende Netzentgeltreform für ein klimaneutrales Stromsystem.

Die aktuelle (Sonder-)Netzentgeltregulierung verhindert, dass Industriebetriebe vorhandene Flexibilitätspotenziale zur Reduktion ihrer Strombezugskosten nutzen

Flexibilitätspotenziale und -perspektiven der deutschen Industrie



Flexibilitätspotenziale in der Industrie

Die Flexibilisierung der Stromnachfrage ist ein entscheidender Baustein für das erfolgreiche Gelingen der Energiewende. Eine bereits heute verfügbare Option ist die Energieflexibilität produzierender Unternehmen und insbesondere der energieintensiven Industrie.

Für eine Abrufdauer von bis zu 4 Stunden sind bei industriellen Produktionsprozessen und Querschnittstechnologien erschließbare Flexibilitätspotenziale von jeweils rund 9 GW zur Lastreduktion und Lasterhöhung vorhanden.

Flexibilitätshemmnisse der heutigen (Sonder-)Netzentgeltregulierung

Die Jahresleistungspreise der regulären Netzentgelte und die Sonderregelungen für Bandlastkunden stellen zentrale Hemmnisse für die Nutzung vorhandener Flexibilität und für Investitionen in zusätzliche Lastflexibilität dar.

Die Jahresleistungspreise des § 17 Abs. 2 StromNEV reizen Unternehmen dazu an, die Stromnachfrage mit dem Ziel der Lastspitzenminimierung zu steuern. Die Privilegierung der Bandlast des § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV belohnt energieintensive Unternehmen für ein möglichst konstantes Abnahmeverhalten.

Die vorgeschlagene Reform folgt dem Grundsatz, die Sondernetzentgelte für stromintensive Industriebetriebe zu erhalten, aber Anreize für systemdienliches flexibles Verhalten zu schaffen

→ **Abbau von Flexibilitätshemmnissen und Schaffung von Flexibilitätsanreizen**

Die nachfolgend vorgestellten Reformvorschläge für § 17 Abs. 2 StromNEV und § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV stellen eine Möglichkeit dar, durch die derzeitige Regulierung bestehende Flexibilitätshemmnisse schrittweise abzubauen sowie im zeitlichen Verlauf zunehmende Anreize für markt- und netzdienliche Flexibilitätserbringung zu setzen.

→ **Erhalt des bisherigen begrenzten Adressatenkreises**

Eine reformierte Sondernetzentgeltregulierung betrifft den Kreis von rund 400 Bandlastverbrauchern, welche über den § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV Sondernetzentgelte erhalten. So kann eine neue Netzentgeltsystematik zunächst für einen überschaubaren Verbraucherkreis eingeführt werden, um Planungssicherheit zu gewähren und um die Umverteilungen gering zu halten. Auch der Reformvorschlag des § 17 Abs. 2 StromNEV sollte zunächst nur für Unternehmen mit Sondernetzentgelten gelten, wobei eine Ausweitung auf alle Verbräuche mit registrierender Leistungsmessung mittelfristig angestrebt werden kann.

→ **Relative Aufkommensneutralität**

Ziel ist es, dass die Gruppe der privilegierten Industriekunden auch in einem reformierten System von im Durchschnitt gleichen Netzentgeltreduktionen profitieren kann. Damit bleibt auch der Anteil, den diese Verbrauchergruppe zur Deckung der Netzkosten leistet, auf gleichem Niveau (kann aber, bei insgesamt steigenden Netzkosten, absolut dennoch steigen); es ist allerdings

nicht ausgeschlossen, dass eine gewisse Umverteilung der Netzentgeltreduktionen innerhalb dieser Gruppe von weniger flexiblen zu flexibleren Unternehmen stattfindet. Es ist davon auszugehen, dass, um den Adressatenkreis stabil zu halten, die heutige 10-GWh-Mindestverbrauchs-Grenze angehoben werden muss.

→ **Verlässlicher Transformationspfad**

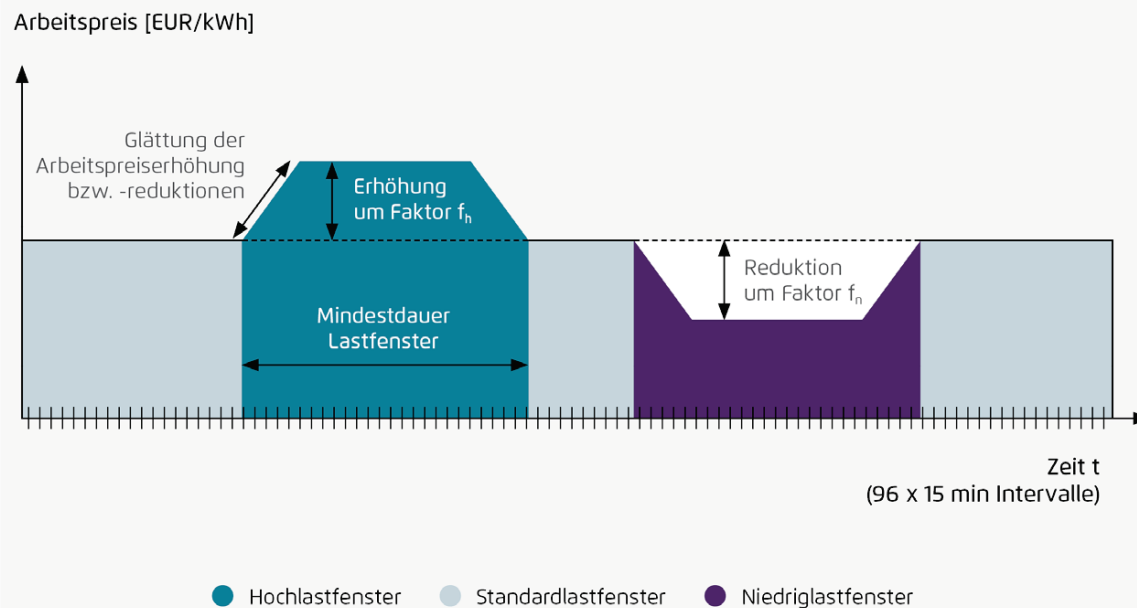
Steigende Anteile an Erneuerbaren Energien erhöhen den Flexibilitätsbedarf des Systems. Über eine Reform der Sondernetzentgelte kann eine schrittweise ansteigende Flexibilitätserbringung dieser relevanten Verbrauchergruppe angereizt werden. Bandlastkunden muss ein verlässlicher und umsetzbarer Transformationspfad aufgezeigt werden, um die notwendige Planungssicherheit für Investitionen zu gewährleisten.

→ **Kompatibilität mit EU-Recht**

Ein Reformvorschlag muss kompatibel mit EU-Recht sein und darf keine Beihilfe darstellen. Die Reform des § 19 Abs. 2 StromNEV ist primär dem Ziel einer zukunftsfähigen Netzentgeltregulierung zuzuordnen, Anreize für netz- und marktdienliches Verhalten müssen die Grundlage sein. Darüber hinausgehende industriepolitische Privilegierungen würden das Instrument überfrachten und sollten daher, so politisch gewünscht, im Rahmen ergänzender Instrumente adressiert werden.

Eine Reform des § 17 Abs. 2 StromNEV stärkt Arbeits- gegenüber Leistungspreisen und führt preislich differenzierte Hoch- und Niedriglastfenster ein

Einführung von Lastfenstern als Anreiz für systemdienlichen Betrieb



→ Definition von Lastfenstern

- Netzbetreiber weisen (auf den relevanten Spannungsebenen) innerhalb eines Monats oder Quartals Lastfenster aus, in denen das Netz stark, mittel oder niedrig ausgelastet ist (Hochlast-, Standardlast- und Niedriglastfenster). Die Hoch- und Niedriglastfenster sollen dazu dienen, netzschädigenden Betrieb in diesen Stunden zu verhindern.
- Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber legen diese Lastfenster anhand von Prognosen zur lokalen Einspeisung, zum lokalen Verbrauch und bestehender Netzrestriktionen in Abhängigkeit von Zeit, Ort und Netzebene fest. Preissignale auf nachgelagerten Ebenen müssen das Signal der vorgelagerten Ebene dabei mit reflektieren.

→ Anpassung der Leistungs- und Arbeitspreiskomponente

- Die Leistungspreiskomponente wird schrittweise reduziert, die Arbeitspreiskomponente erhöht. Im Zielbild sinkt die Leistungspreiskomponente auf einen niedrigen Wert, ggf. sogar auf Null.
- In Niedrig- und Hochlastfenstern wird ein differenzierter Arbeitspreis eingeführt.
- Lastspitzen durch die Bereitstellung von Regelenergie und Systemdienstleistungen werden bei der Netzentgeltermittlung ausgeklammert.

Kernelement der Reform des § 19 (2) StromNEV ist eine Abkehr vom Bandlastanreiz und die Einführung eines Flexibilitätsanreizes

→ Wegfall der Benutzungsstundenregel und Einführung eines Schwellenwerts für Sondernetzentgelte

- Anstelle der Benutzungsstundenregelung mit mehreren Sprungstellen erfolgt die Definition eines Schwellenwerts, so dass zum Einführungszeitpunkt nur eine einzige Sprungstelle zu Netzentgeltreduktionen führt.
- Für die über den einen Schwellenwert hinausgehende Jahresarbeit steigen die Netzentgelte kontinuierlich an.

→ Netzdienliches Verhalten in Form von Flexibilitätsbereitstellung als Voraussetzung für den Erhalt von Sondernetzentgelten

- Energieintensive Unternehmen müssen für den Erhalt von Sondernetzentgelten ihre Last im Vergleich zu ihrer Durchschnittslast zeitweise anpassen. Die Anforderungen an den Umfang der Flexibilitätsbereitstellung sind zum Einführungszeitpunkt relativ gering, steigen jedoch über die Jahre hinweg kontinuierlich an. Dabei bleibt den Unternehmen freigestellt, ob sie in Niedriglastfenstern ihre Last erhöhen oder in Hochlastfenstern ihre Last verringern oder die Anforderungen durch eine Kombination von beidem erfüllen, da die Potenziale zur Lasterhöhung bzw. -reduktion individuell unterschiedlich sind.

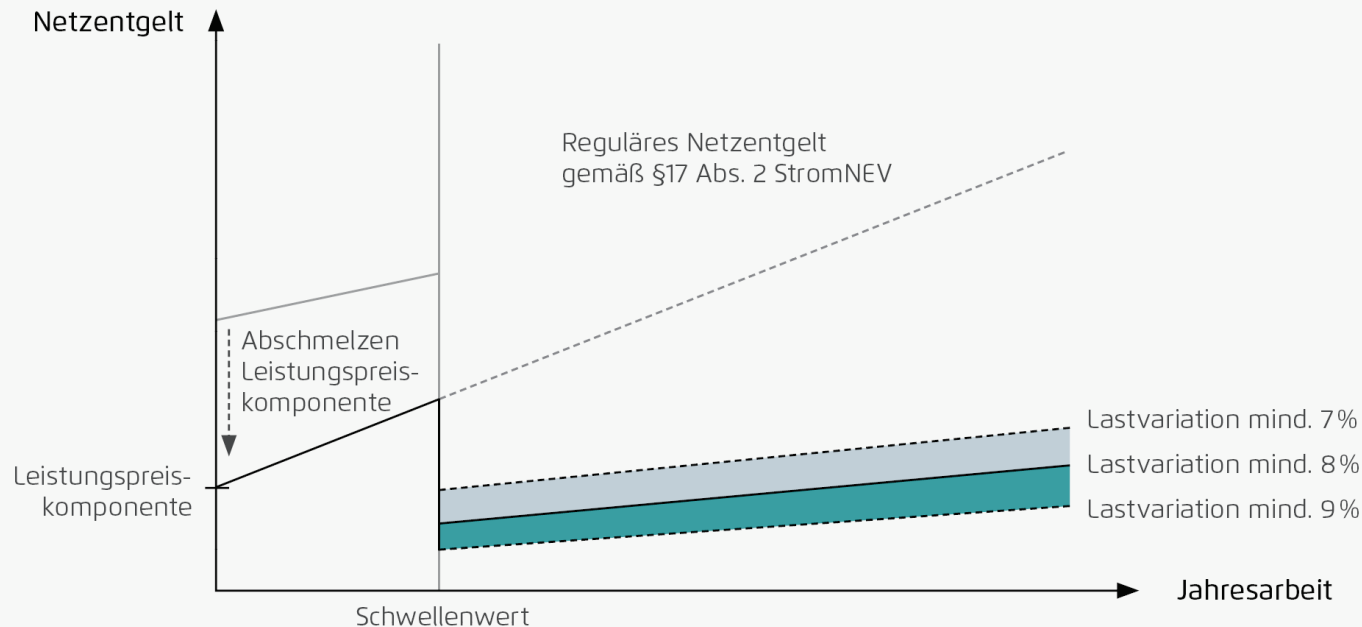
- Weiterhin ist den Unternehmen freigestellt, welche Lastfenster sie zur Lastreaktion nutzen, und ob sie über einen kürzeren Zeitraum Last stärker reduzieren, oder über einen längeren Zeitraum in geringerem Maß – solange sie über Monats- oder Quartalszeiträume insgesamt Lastflexibilität zeigen. Wenn z. B. die Flexibilitätsanforderung bei 3% liegt, so wird diese erfüllt, wenn ein Unternehmen mit einer Durchschnittslast von 10 MW seine Last über den gesamten Zeitraum eines Niedriglastfensters um 0,3 MW, oder zu einem Zehntel des Zeitraums um 3 MW erhöht.
- Statt einer relativen Flexibilitätsvorgabe für alle Industrien könnte alternativ auch ein Top-Runner-Ansatz erwogen werden, bei dem branchenspezifische Benchmarks als Basis für das zu erreichende Flexibilitätsziel herangezogen werden.
- Die Art und Weise der eingesetzten Flexibilität obliegt dem Verbraucher. Diese Technologieoffenheit bezieht Eigenerzeugung und Speicher entsprechend mit ein.

→ Ausgestaltung der Netzentgeltreduktionen in Form eines Flexibilitätsbands

- Die Höhe der Netzentgeltreduktionen bemisst sich in Abhängigkeit der erbrachten Flexibilität und könnte beispielsweise – angelehnt an die heutige Regelung – zwischen 80 % und 90 % betragen. Alternativ: Etwas niedrigere maximale Reduktionen würden ermöglichen, unter Wahrung der Aufkommensneutralität auch weiteren Bandlastverbrauchern eine Vergünstigung einzuräumen und damit die Sprungstelle zu verringern.

Mittelfristig führen die Verschiebung von Leistungspreis- zu Arbeitspreiskomponente und zunehmende Flex-Anforderungen zu stärkeren Anreizen für flexible industrielle Last

Zusammenwirken der Reformvorschläge für § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV und § 17 Abs. 2 StromNEV;
dargestelltes Jahr: 2033



● Weniger Netzentgeltreduktion bei weniger Flexibilität ● Mehr Netzentgeltreduktion bei mehr Flexibilität

→ Anpassung der Leistungs- und Arbeitspreiskomponente:

- Die Sprungstelle ist zu Beginn relativ groß, da der Leistungspreis den überwiegenden Anteil der Netzentgelte verursacht. Durch eine schrittweise Reduzierung der Leistungspreis-komponente verringert sich die Größe der Sprungstelle über die Zeit.
- Beim Übergang in die neue Netzentgelt-systematik des § 17 Abs. 2 StromNEV kompensiert die Arbeitspreiskomponente die schrittweise Reduktion der Leistungspreis-komponente, indem die Steigung des Arbeitspreises steiler ausgeprägt ist.

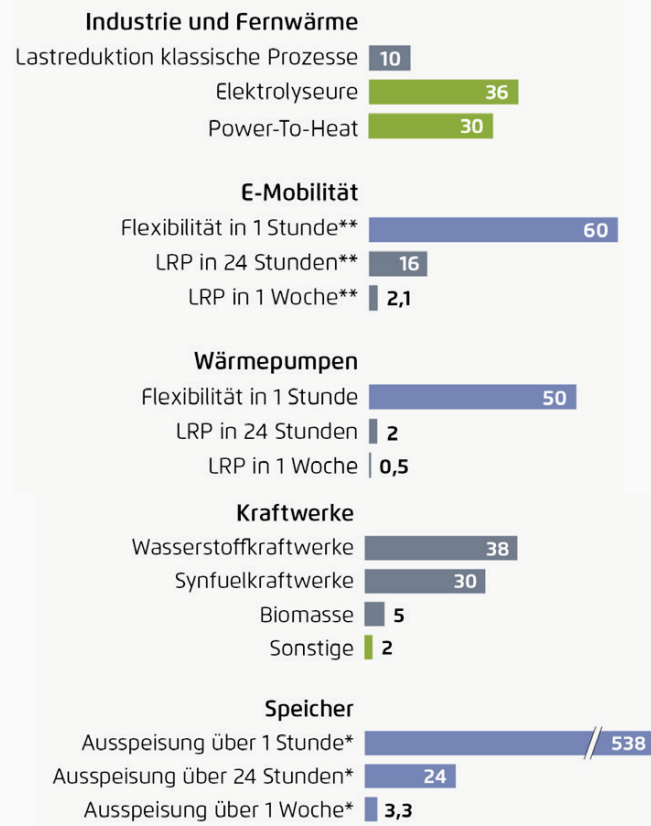
→ Markt- und netzdienliches Verhalten in Form von Flexibilitätsbereitstellung

- Gleichzeitig steigen mit der Zeit die Anforderungen an die zu erfüllende Flexibilität, die sich durch eine höhere Lastvariation ausdrückt.

Bedeutung der Industrie-Flexibilität für das Stromsystem

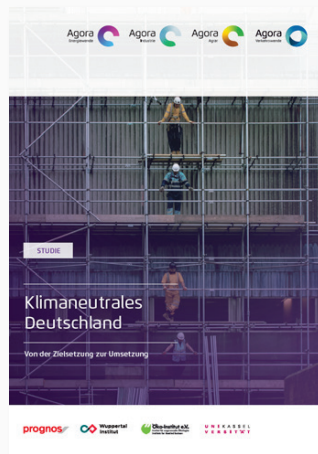
Die Flexibilisierung der Stromnachfrage im deutschen Energiesystem ist ein entscheidender Baustein für das Gelingen der Energiewende

Flexibilität im Stromsystem 2045 [GW]



Haupttrichtung der Flexibilität:

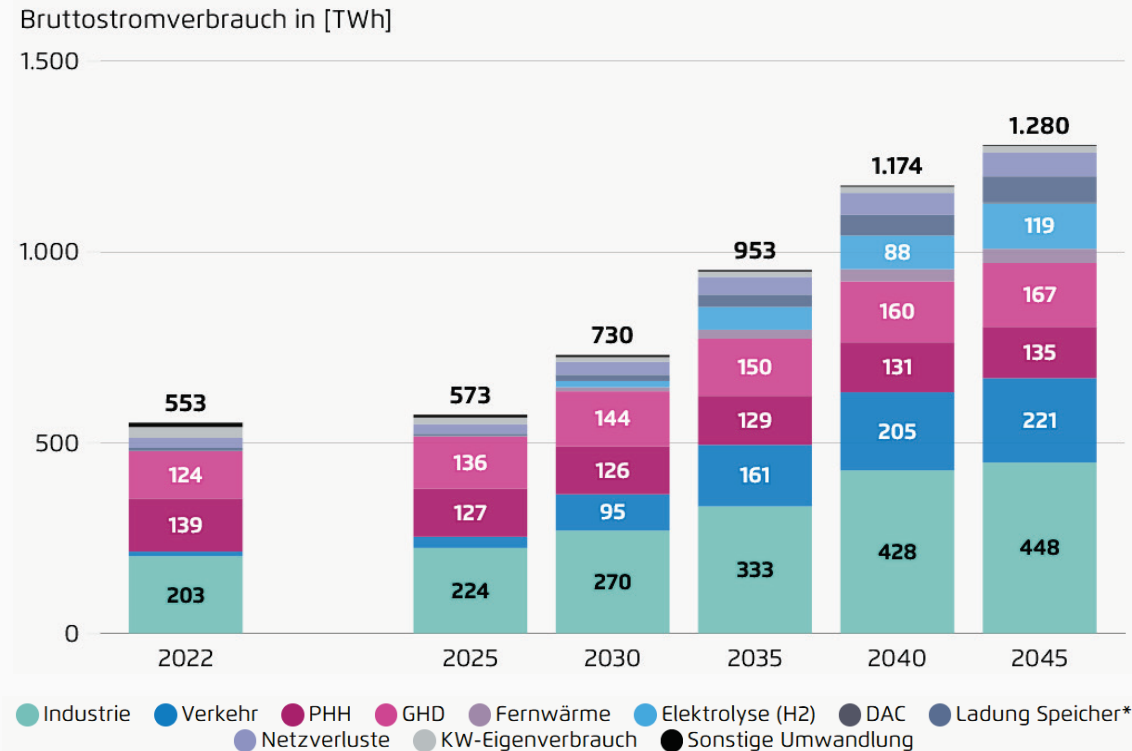
- Wenig Sonne und Wind
- Viel Sonne und Wind
- Beidseitig



- Zum Ausgleich der volatilen Einspeisung Erneuerbarer Energien bedarf es zukünftig aller Flexibilitätsoptionen im Stromsystem. Eine heute schon verfügbare **Flexibilitätsoption** ist die **Energieflexibilität produzierender Unternehmen** und insbesondere der energieintensiven Industrie.
- **Flexibilität** von bestehenden und stärker noch von auf Flexibilität ausgelegten neuen Anlagen **verringert die Strompreise für alle Endkunden**. Sie reduziert den Investitionsbedarf in Wind- und Solaranlagen, in steuerbare und Back-up-Kraftwerke und in die Netzinfrastruktur für ein klimaneutrales Stromsystem.
- Laut dem Bericht der Bundesnetzagentur (Bundesnetzagentur, 2023) zur Versorgungssicherheit in Deutschland ist zum Ausgleich einer zunehmend volatileren Einspeisung aus Erneuerbaren Energieanlagen von zentraler Bedeutung, dass industrielle Prozesse und Querschnittstechnologien **bis 2031 mindestens acht Gigawatt Flexibilität als drosselbare Leistung** bereitstellen.

Investitionen in elektrische Prozesse in den kommenden Jahren bieten für Industriebetriebe die Chance, zusätzliche Flexibilität zu entwickeln

Stromnachfrage nach Sektoren



- Bis **2030** wird der Stromverbrauch in der Industrie vor allem durch die **Elektrifizierung der Prozesswärme** (< 500 °C) sowie die verstärkte Nutzung effizienter **Querschnittstechnologien** steigen. Bis **2045** setzt sich dieser Trend durch die fortgesetzte Elektrifizierung der Prozesswärme, **CO₂-Abscheidung** sowie **Batteriezellproduktion** fort.
- Durch den Einsatz dieser Prozesse und Technologien kann nicht nur der Weg hin zur Klimaneutralität geebnet werden – es eröffnen sich damit in der Industrie bei Anpassung der Produktionsprozesse auch **ergänzende Flexibilitätsperspektiven**.
- Flexibilitäten wirken kostensenkend und können über Netzentgelte, die auf Systemkostensenkung ausgerichtet sind, effektiv gehebelt werden – gerade wenn die Anreize zum Investitionszeitpunkt richtig gesetzt sind.
- Daher ist eine **zügige Reform der heutigen Netzentgeltsystematik erforderlich**.

Potenziale industrieller Energieflexibilität

Bereits aus heutiger Sicht liegen große Energieflexibilitätpotenziale und -perspektiven in der deutschen Industrie vor

Flexibilitätpotenziale und -perspektiven der deutschen Industrie

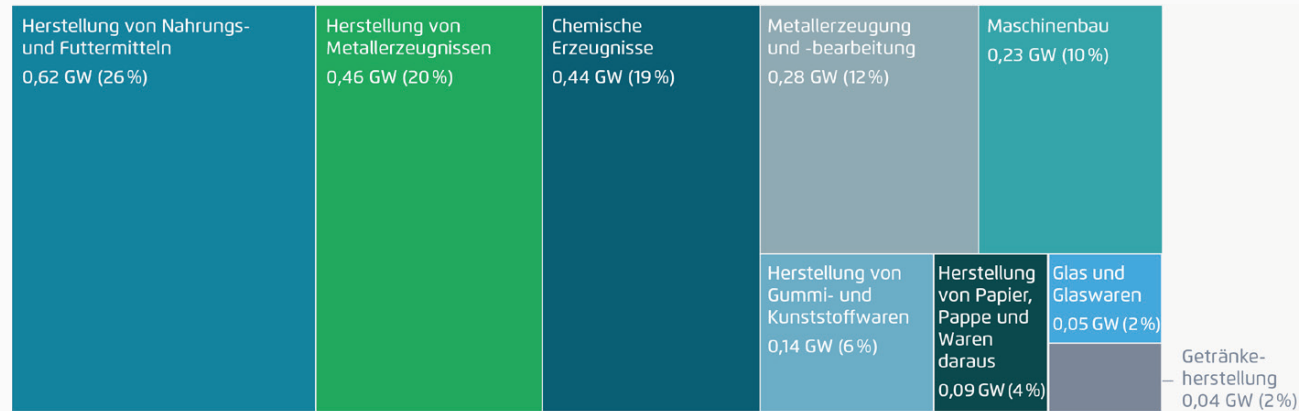


- Die **größten Flexibilitätpotenziale und -perspektiven** entfallen auf **Querschnittstechnologien** wie Kühlanlagen oder Druckluftsysteme.
- Mit **zunehmender Abrufdauer sinkt die flexibilisierbare Leistung**. Die Lastreduktion besitzt in etwa einen gleichen Hebel wie die Lasterhöhung.
- Ein besonders **signifikanter Umfang** an Energieflexibilität ist für eine **Abrufdauer von bis zu 4 Stunden** zu verzeichnen. Dies liegt unter anderem daran, dass die typische Prozesslänge einer **bivalenten Prozessdampfbereitstellung über Elektrodenkessel** circa 4 Stunden beträgt.
- Für Abrufdauern **über 12 Stunden** können unter anderem Technologien mit großen **Speicherkapazitäten** wie Luftzerlegungsanlagen zum Einsatz kommen. Längerfristige Lastverschiebungen sind beispielsweise bei Prozessen mit Temperaturbändern (wie zum Beispiel Schmelzprozessen) möglich.
- **Zum Vergleich:** Der Nettostromverbrauch der Industrie im Jahr 2023 belief sich auf 201 TWh (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., 2024). Durch das Heben und Einsetzen der identifizierten technischen Potenziale und Perspektiven könnte **fast ein Viertel des heutigen deutschen Industriestromverbrauchs flexibilisiert** werden.

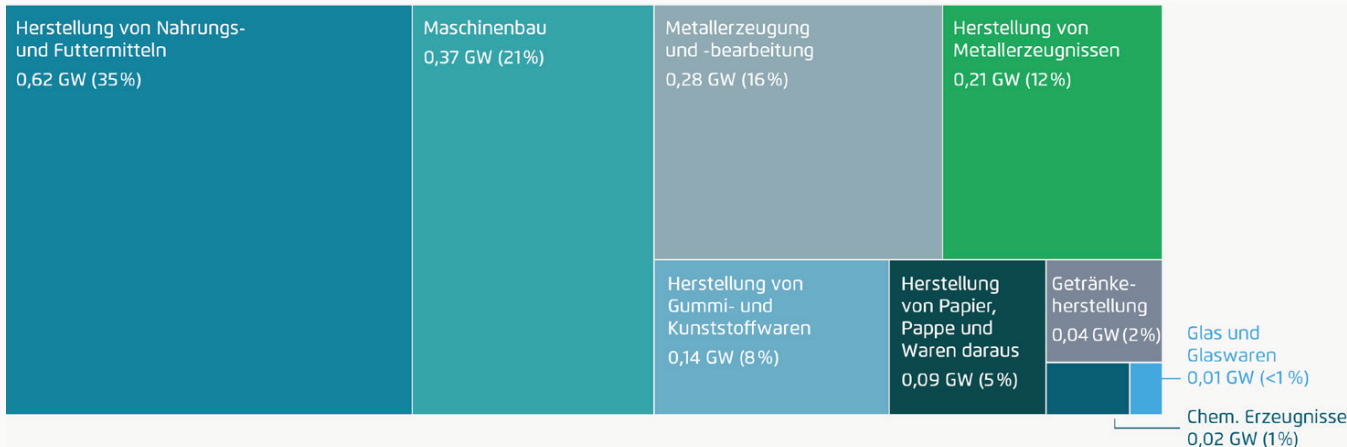
Die industrielle Energieflexibilität unterscheidet sich dabei je nach betrachteter Branche

Flexibilisierbare Leistung bei Abrufdauer von bis zu 15 Minuten

Lastreduktion



Lasterhöhung

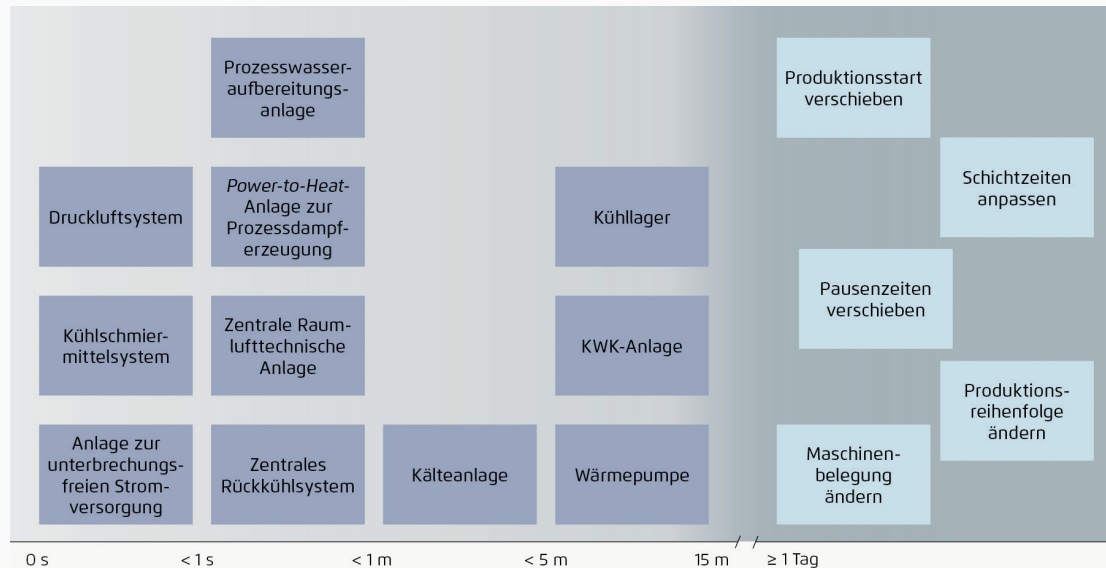


→ Es lassen sich **Unterschiede** in der Höhe der Flexibilitätspotenziale **zwischen verschiedenen Branchen** erkennen, allerdings ist das vorhandene technische **Flexibilitätspotenzial** sowohl zwischen Unternehmen innerhalb einer bestimmten Branche als auch zwischen (Produktions-)Prozessen innerhalb eines Unternehmens teilweise sehr **heterogen**.

→ Insbesondere in der Herstellung von **Nahrungsmitteln, Metallerzeugnissen, chemischen Erzeugnissen sowie dem Maschinenbau** sind ein **Großteil der Flexibilitätspotenziale** zu verorten.

Die Vorlaufzeiten von Energieflexibilitätsmaßnahmen unterscheiden sich je nach Prozess und Technologie

Vorlaufzeiten beispielhafter technischer Energieflexibilitätsmaßnahmen

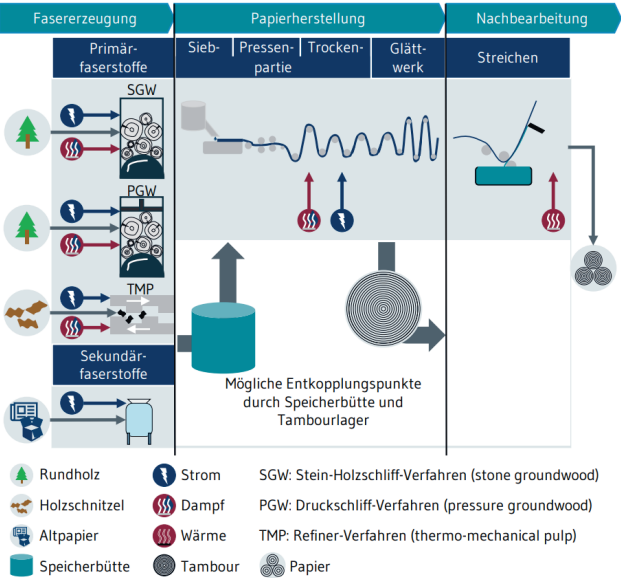


Differenzierung zwischen technischen und organisatorischen Energieflexibilitätsmaßnahmen (Buhl et al., 2021):

- Technische Maßnahmen beeinflussen das prozessspezifische Lastprofil direkt, beispielsweise durch Veränderungen der eingesetzten Energieträger.
- **Organisatorische Maßnahmen** umfassen hingegen Änderungen an der Produktionsplanung, die sich in der Folge auf den elektrischen Energieverbrauch eines Prozesses auswirken (beispielsweise die Anpassung der Pausenzeiten oder der Schichtzeiten).
- Sowohl organisatorische als auch technische Energieflexibilitätsmaßnahmen können den **Energiebedarf verlagern** (Lastverschiebung) **oder** den Energiebedarf industrieller Systeme **verändern** (Lastreduktion oder Lasterhöhung).
- Die Vorlaufzeiten für die Aktivierung von Energieflexibilitätsmaßnahmen sind wie die Abrufdauer, Abrufhäufigkeit, Aktivierung und Deaktivierung **prozessspezifische Kennzahlen**, die von Unternehmen zu Unternehmen **innerhalb einer Branche** sowie **branchenübergreifend erheblich variieren** können.

Flexibilitätspotenziale beispielhafter industrieller Prozesse (1/3): Energieflexible Papierherstellung

Schematische Darstellung des
Papierherstellungsprozesses



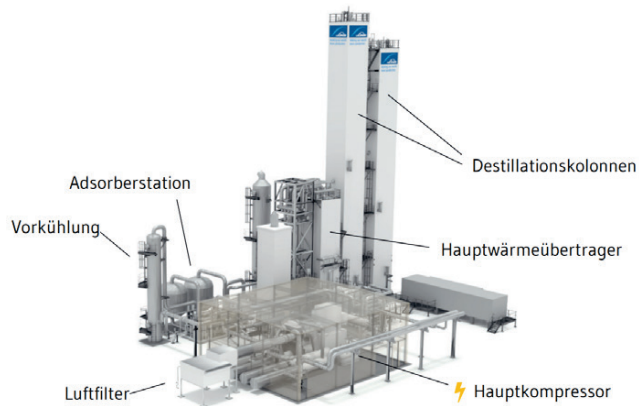
Sauer et al. (2022)

- Mit einem Energieverbrauch von etwa 15,9 TWh im Jahr 2022 zählt die **Herstellung von Papier und Zellstoffen** zu den **energieintensiven Industrien** in Deutschland.
- Aufgrund der Herausforderungen und des damit verbundenen Aufwands beim Anfahren einer Papiermaschine wird diese möglichst kontinuierlich im Steady State betrieben. Von besonderem Interesse sind daher die Flexibilitätspotenziale **vor- und nachgelagerter Prozesse**.
- Unter anderem in der Anpassung der **Papiermaschinengeschwindigkeit**, der Papiersorteneinplanung, der Anpassung bei der **Belegung von Holzschleifern** und dem **Abschalten/Durchblasen von Thermo-Mechanical-Pulp-Anlagen** (TMP-Anlagen) bestehen Potentiale zu flexiblerem Strombezug.
- Insbesondere das **Abschalten/Durchblasen der TMP-Anlage** bietet ein hohes Potenzial zur Lastreduktion. Die von der TMP-Anlage produzierten Papierhalbstoffe können zwischengespeichert werden, wodurch der Betrieb der TMP-Anlage vom Betrieb der Papiermaschine logistisch entkoppelt ist.
- **Abschätzung des Energieflexibilitätspotenzials (SynErgie, 2022):**

Flexibilitätsmaßnahme	Flexibilitätspotenzial Deutschland
Lastreduktion durch Abschaltung	Flexibilisierbare Leistung in Höhe von 89,2 MW, die jährlich 20-mal für jeweils 10 Stunden abgerufen werden kann (flexibilisierbare Energie: 17.840 MWh/Jahr)
Lastverschiebung	Flexibilisierbare Leistung in Höhe von 89,2 MW, die jährlich 52-mal für jeweils 15 Minuten abgerufen werden kann (flexibilisierbare Energie: 1.160 MWh/Jahr)

Flexibilitätspotenziale beispielhafter industrieller Prozesse (2/3): Energieflexible Luftzerlegung

Darstellung einer kryogenen
Luftzerlegungsanlage



Sauer et al. (2022)

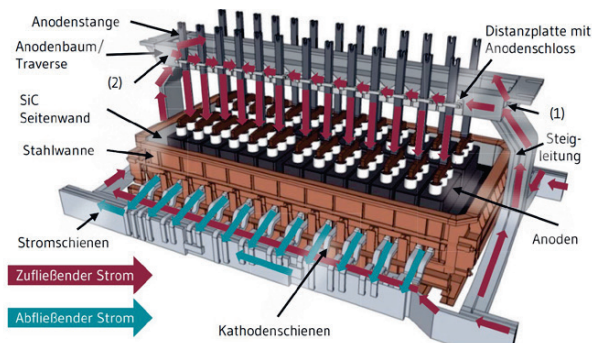
- Die **Luftzerlegung** bietet aufgrund ihres **hohen elektrischen Energiebedarfs** (ca. 1 % am industriellen Stromverbrauch Deutschlands) und der Möglichkeit, die im Prozess verflüssigten **Gase als Energiespeicher** zu verwenden, sehr gute Voraussetzungen zur Flexibilisierung.
- Drei mögliche Energieflexibilitätsmaßnahmen, die realisiert werden können:
 - Energieflexibilitätsbefähigung im kontinuierlichen Betrieb, d.h. der Lastbereich der Luftzerlegungsanlage wird auf einen **höheren Luftdurchsatz** erweitert, wodurch sich der elektrische Strombedarf flexibilisieren lässt.
 - **Teilabschaltung einer Luftzerlegungsanlage** mit Flüssigprodukten, d.h. es erfolgt das Abschalten eines Verflüssigungskreislaufs einer Flüssiganlage; der Kältehaushalt der Luftzerlegungsanlage muss damit zeitweise über die Rückführung kryogener Flüssigprodukte in die Anlage gedeckt werden.
 - **Vollabschaltung**, d. h. bei dieser Flexibilitätsmaßnahme wird die Produktion der Anlage vollständig eingestellt.
- **Abschätzung der Flexibilitätsperspektiven:**

Flexibilitätsmaßnahme	Flexibilitätsperspektive Deutschland
Prozess unterbrechen, Energie speichern	300 MW für eine Abrufdauer bis zu 48 Stunden
Prozessparameter anpassen	280 MW für eine Abrufdauer bis zu 24 Stunden

- Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Volatilität an den Strommärkten bereits heute Anreize für einen flexiblen Betrieb bieten, allerdings die regulatorischen Rahmenbedingungen den Einsatz der Potenziale einschränken.

Flexibilitätspotenziale beispielhafter industrieller Prozesse (3/3): Energieflexible Aluminiumelektrolyse

Stromverlauf beim Elektrolyseofen



Sauer et al. (2022)

- Die **Aluminiumelektrolyse** gehört zu den **energieintensiven Prozessen in Deutschland** und stellt einen wesentlichen Hebel zur Flexibilisierung der energieintensiven Nachfrageseite dar.
- Aluminium wird global **grundsätzlich** nach dem Hall-Héroult-Verfahren der Schmelzflusselektrolyse aus Aluminiumoxid bei einer Betriebstemperatur von ca. 960 °C und einer **konstanten Stromabnahme** gewonnen.
- Im Rahmen des Projektes SynErgie wurde eins der drei Aluminium-Elektrolyse-Systeme zur Ermöglichung eines flexiblen Betriebes (»FLEX-Elektrolyse«) mit einer **Magnetfeldkompensation** ausgerüstet, um die störenden Effekte des prozessbedingt starken Gleichstrom-Magnetfeldes zu verringern.
- Dadurch wurde die Möglichkeit geschaffen, die Nominalleistung der Linie von ca. 90 MW um bis zu $\pm 20\%$ zu variieren, um je nach Versorgungssituation im Netz **bis zu 18 MW Leistungsüberschuss** aufzunehmen bzw. bei Versorgungsengpässen durch Drosselung der Produktion dem Netz zur Verfügung zu stellen.
- Zusätzlich wurden eine Produktionslinie mit **steuerbaren Wärmetauschern** ausgestattet, die es erlauben, die **Nominalleistung weiterhin um bis zu $\pm 22,5$ MW für bis zu 48 h in jede Richtung variieren zu können**, wodurch sich das Energieverschiebepotential auf ± 1.080 MWh vergrößert.
- In **Testbetrieben** konnte **erfolgreich** jeweils über **zwei Stunden eine Last von +19 MW und -14 MW verschoben** und damit gezeigt werden, dass die Lastflexibilisierung der Aluminiumelektrolyse einen wertvollen Beitrag zur Systemstabilität und Integration von erneuerbaren Energiequellen leisten kann.

Konzept für eine Reform der industriellen Sondernetzentgelte

Die aktuelle Berechnungssystematik der Netzentgelte „bestraft“ Lastspitzen bei energieintensiven Unternehmen doppelt

Ermittlung der Netzentgelte: § 17 Abs. 2 StromNEV

Leistungspreis ~ 80 %



+

Arbeitspreis ~ 20 %



Betrifft alle Unternehmen

Produzierende Unternehmen steuern ihren Verbrauch primär mit dem Ziel, Lastspitzen zu senken

Netzentgeltreduktion: § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV

Jahresarbeit
> 10 GWh



Benutzungsstunden = $\frac{\text{Jahresarbeit}}{\text{Lastspitze}}$

- ≥ 7.000 → Netzentgeltreduktion um max. 80 %
- ≥ 7.500 → Netzentgeltreduktion um max. 85 %
- ≥ 8.000 → Netzentgeltreduktion um max. 90 %



Betrifft energieintensive Unternehmen

Die Benutzungsstundenregel reizt kontinuierlichen und teils unnötigen Mehrverbrauch an
Unternehmen haben kaum Anreize für Flexibilität

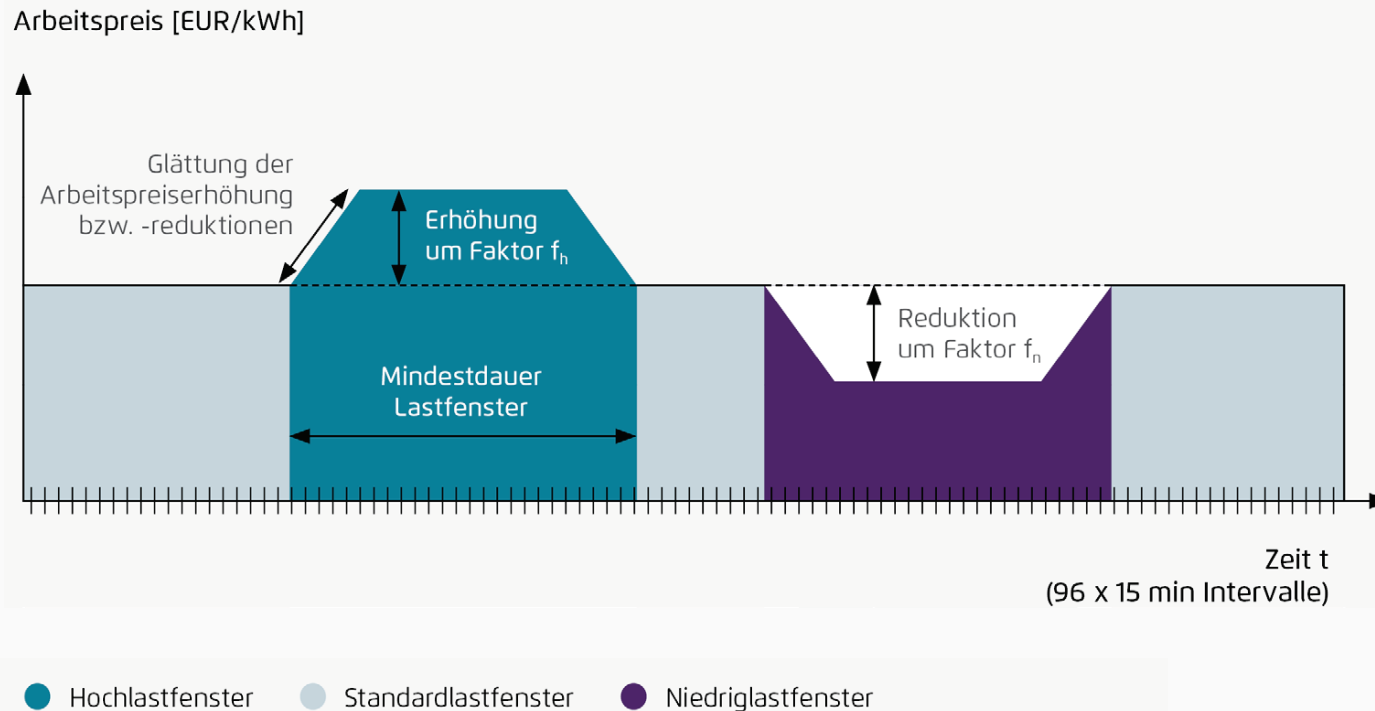
Die Basis für die Netzentgeltreduktionen gemäß § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV bilden die allgemeinen Netzentgelte gemäß § 17 Abs. 2 StromNEV. Es bedarf somit neben einer Weiterentwicklung des § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV auch einer übergeordneten Reform, welche die grundsätzlichen Flexibilitätshemmnisse des § 17 Abs. 2 StromNEV beseitigt.

Eine Reform von § 17 Abs. 2 StromNEV sollte die Leistungspreiskomponente zunächst für Bandlastkunden schrittweise reduzieren, und Rahmenbedingungen für markt- und netzdienlichen Strombezug schaffen

- Schrittweise **Reduktion der Leistungs- und Erhöhung der Arbeitspreiskomponente** bei gleichzeitiger Sicherstellung der Deckung der Netzkosten über die periodenübergreifende Saldierung
 - **Übertragungsnetzbetreiber und Verteilnetzbetreiber legen Hoch-, Standard- und Niedriglastfenster** anhand von Prognosen zur lokalen Einspeisung, zum lokalen Verbrauch und bestehender Netzrestriktionen in Abhängigkeit von Zeit, Ort und Netzebene **fest**
 - Einführung **differenzierter Arbeitspreise in Hoch- und Niedriglastfenstern**, die im Zeitablauf zunehmend dynamisiert werden (z. B. über **Länge der Mindestdauer** der Lastfenster; Dynamisierungsgrad der **Faktoren zur Erhöhung oder Reduktion** des Arbeitspreises; **Grad der „Glättung“** der Arbeitspreiserhöhung bzw. -reduktionen)
- Bei der Ausgestaltung der Lastfenster in punkto Länge und Höhe sollten die Netzbetreiber über die oben genannten Rahmenparameter hinaus Freiheitsgrade haben. Maßgabe sollte dabei sein, dass sie den erwarteten Netzzustand adäquat abbilden können, und gleichzeitig energieintensive Letztverbraucher ihre Produktionsprozesse und Flexibilitäten so weit als möglich ohne Netzverzerrungen steuern können.
 - In Niedriglastfenstern und bei der Bereitstellung von **Regelenergie** oder sonstigen **Systemdienstleistungen** auftretende **Lastspitzen** werden bei der **Ermittlung der Netzentgelte ausgeklammert**
 - Reformvorschlag gilt **zunächst nur für Unternehmen, die individuelle Netzentgelte gemäß § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV beziehen**; in einem zweiten Schritt kann eine Ausweitung auf alle Kunden des § 17 Abs. 2 StromNEV vorgenommen werden

Es werden in einem ersten Schritt Lastfenster eingeführt, welche netz- und marktdienlichen Strombezug anreizen, und die Arbeitspreiskomponente schrittweise gestärkt

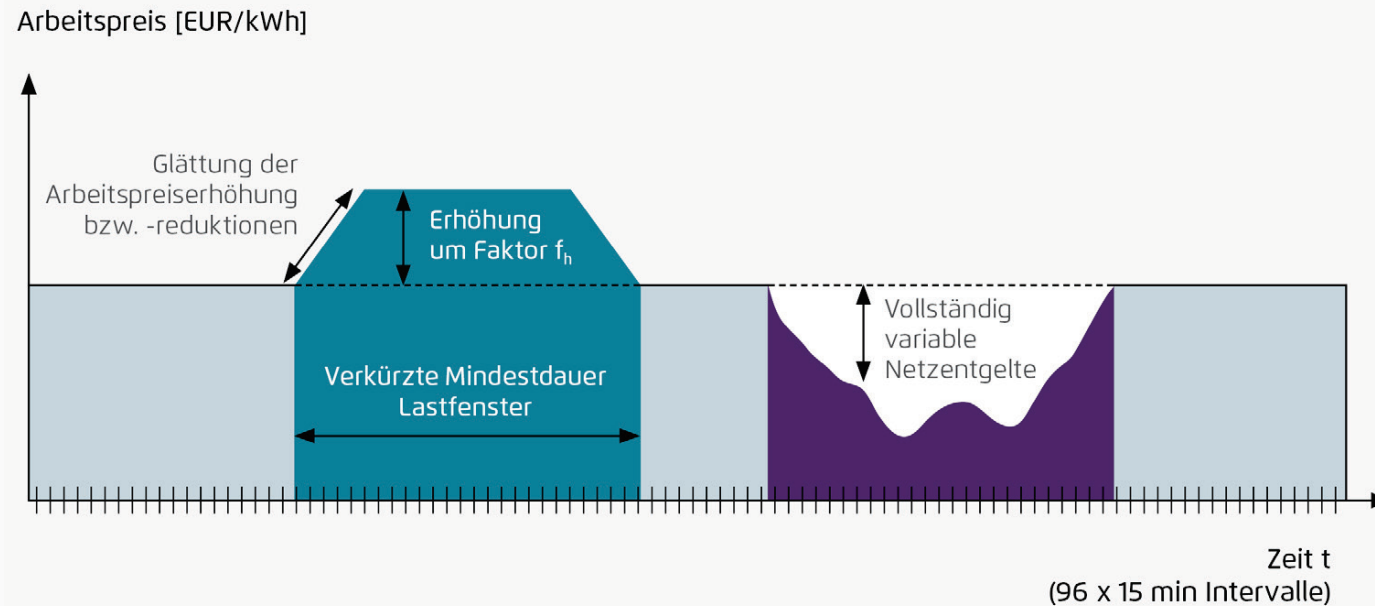
Schematische Darstellung des differenzierten Arbeitspreises in der kurzen bis mittleren Frist



- Die Länge der Hoch- und Niedriglastfenster kann entsprechend der Netzbelastungen differieren. Zur Vermeidung von Netzausbaukosten sind präzise, aber preisrelevante Hochlastfenster von Bedeutung. Die unterschiedliche Höhe der Entgeltabweichung gleicht dies bei Bandlastverbrauch aus (gleichbleibendes Integral).
- Verstärkungsfaktoren f_h und f_n können im ersten Jahr gering ausfallen und in den Folgejahren schrittweise erhöht werden
- Zur Vermeidung von Sprungstellen können die Verstärkungsfaktoren über einen gewissen Zeitraum geglättet werden
- Arbeitspreiskomponente erhält im Vergleich zur Leistungspreiskomponente sukzessive ein immer größeres Gewicht

Die Arbeitspreiskomponente wächst mittelfristig zur dominanten Größe und wird weiter ausdifferenziert

Schematische Darstellung des differenzierten Arbeitspreises in der mittleren bis langen Frist

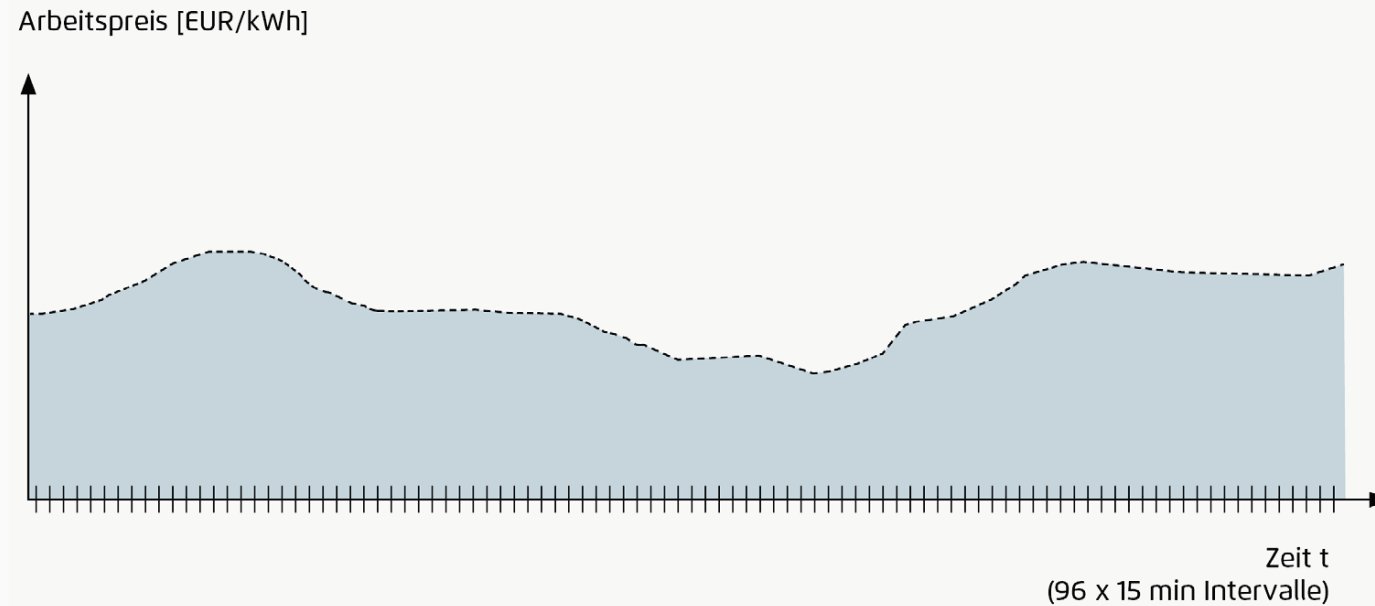


● Hochlastfenster ● Standardlastfenster ● Niedriglastfenster

- Um Lasterhöhungen anzureizen und flexiblen Unternehmen die Möglichkeit zu bieten, von markt- und netzdienlichen Lasterhöhungen zu profitieren, sollte **zunächst der Arbeitspreis in den Niedriglastfenstern differenziert** werden.
- **Flexible Unternehmen profitieren zunehmend stärker** von der neuen Regelung; weniger flexible Unternehmen werden weiterhin geschützt, da die (zunehmende) Differenzierung des Arbeitspreises in den Hochlastfenstern erst in einem letzten Schritt erfolgt.
- **Anteile der Arbeits- und Leistungspreiskomponente** verschieben sich sukzessive in **Richtung der Arbeitspreiskomponente**.

Langfristig dominiert ein differenzierter Arbeitspreis – die Industrie steuert den Verbrauch unter Einbeziehung der Preissignale von Markt und Netz

Schematische Darstellung des differenzierten Arbeitspreises in der langen Frist

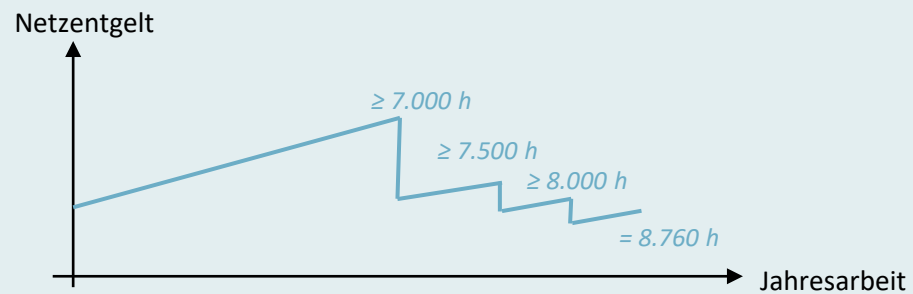


- Nach vollständiger Dynamisierung des Arbeitspreises liegen im Zielbild **zeitlich und örtlich differenzierte Netzentgelte** vor:
- Anteile von Leistungs- und Arbeitspreiskomponente haben sich **weitgehend oder vollständig in Richtung der Arbeitspreiskomponente** verschoben
- Minstdauer der **Hochlast- und Niedriglastfenster** z. B. auf **15-minütiger Basis**
- Der **Arbeitspreis** ist **vollständig differenziert**

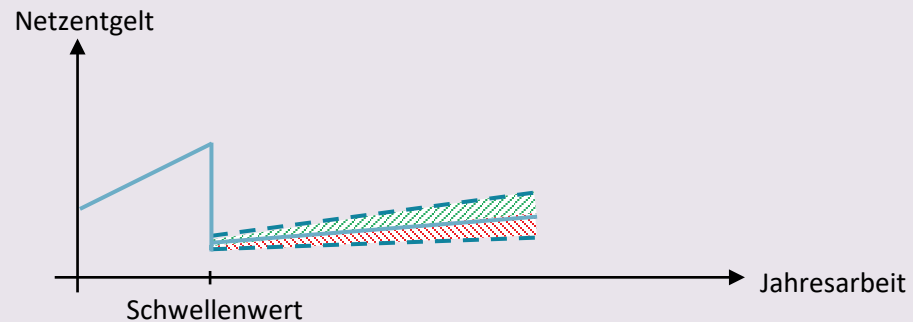
Ein reformierter § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV sollte die Benutzungsstundenregel abschaffen und einen neuen Schwellenwert für Sondernetzentgelte einführen

Flexibilitätshemmnisse im Status quo und Abbau von Fehlanreizen

Status quo (vereinfachte Darstellung)



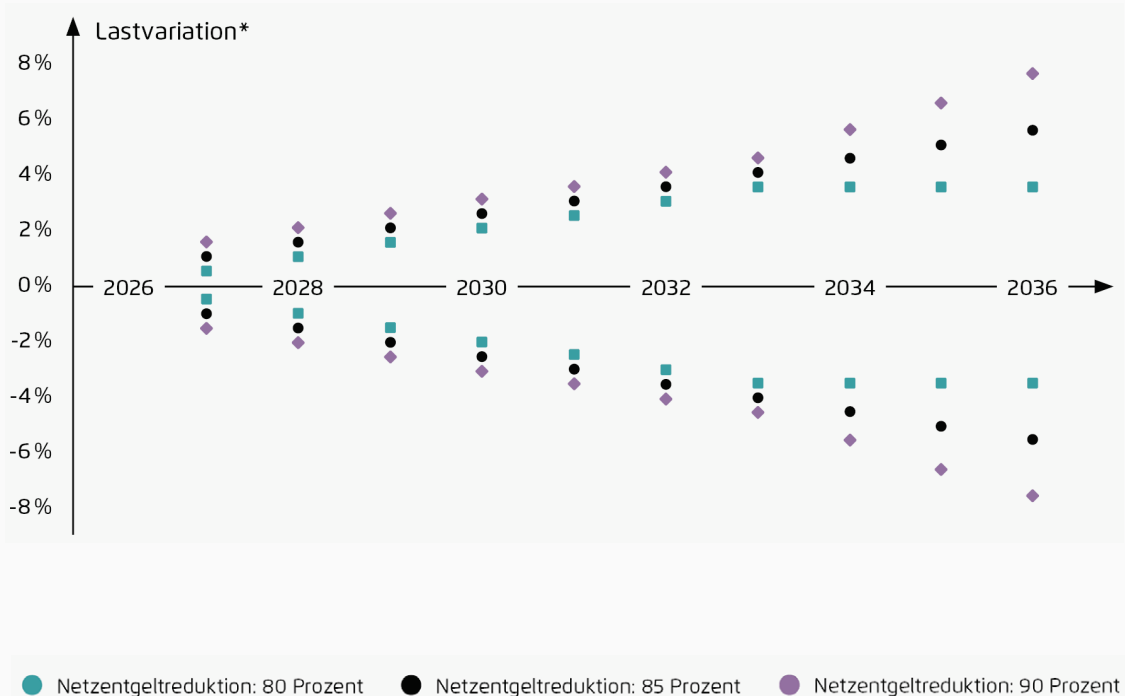
Abbau Fehlanreize (vereinfachte Darstellung)



- Anstelle der Benutzungsstundenregel mit mehreren Sprungstellen erfolgt die **Definition von einem Schwellenwert (Jahresarbeit)**, ab dem zum Einführungszeitpunkt nur eine einzige Sprungstelle für energieflexible Unternehmen vergleichbare Reduktionen wie heute schafft.
- Für die über den Schwellenwert hinausgehende Jahresarbeit **steigen die zu zahlenden Netzentgelte deutlich geringer** an.
- Die Einführung des Schwellenwerts würde die Industrie weiterhin entlasten, jedoch deutlich **weniger Anreize für Ineffizienz und Inflexibilität setzen**. Da die Netzentgelte und Strombezugskosten rechts der Sprungstelle monoton ansteigen, besteht künftig immer ein Anreiz für Effizienz.
- Der **Schwellenwert wird so gewählt**, dass die **Aufkommensneutralität im Berechtigtenkreis erfüllt** ist. Das bedeutet, dass die Gruppe der privilegierten Netznutzer – verglichen mit dem Status Quo – im Durchschnitt keine Änderung erfährt; es findet lediglich eine Umverteilung der Netzentgeltreduktionen in der Gruppe statt.

Statt Bandlastbezug sollte künftig markt- und netzdienliches Verhalten Voraussetzung für Sondernetzentgelte sein. Dieses kann über relative Flexibilitätsanforderungen angereizt werden

Steigende Flexibilitätsanforderungen in Form von Lastvariation



- **Netzbetreiber** weisen innerhalb eines **Monats oder Quartals Lastfenster** aus, in denen das **Netz (lastseitig) stark, mittel oder niedrig ausgelastet** ist. Die **Ermittlung der Netzentgelte** erfolgt **für jeden Zeitraum separat**.
- Unternehmen müssen im Vergleich zu ihrer Durchschnittslast in Hochlastfenstern die durchschnittliche aus dem Netz bezogene Last innerhalb eines Monats oder Quartals um einen **bestimmten Prozentsatz reduzieren** bzw. entsprechend in Niedriglastzeiten die durchschnittliche aus dem Netz **bezogene Last erhöhen**.
- Dabei könnte es Unternehmen **freigestellt** sein, ob sie **in Niedriglastfenstern ihre Last erhöhen oder in Hochlastfenstern ihre Last verringern** oder die Anforderungen durch eine **Kombination von beidem** erfüllen. Bei einer erforderlichen Lastvariation von 6 % könnte das Unternehmen diese zum Beispiel über eine Lastreduktion und -erhöhung von je 3 %, oder eine Lastreduktion von 1,5 % und -erhöhung um 4,5 % erfüllen.
- **Flexibilitätsanforderungen:** Die Anforderungen an Lasterhöhungen und -reduktionen sind zum Einführungszeitpunkt gering, steigen jedoch über die Jahre hinweg an. Für höhere Netzentgeltreduktionen müssen Unternehmen mehr Flexibilität erbringen.
- **Flexibilitätsband:** Um neue Sprungstellen zu vermeiden, wird die Höhe der Netzentgeltreduktionen in Abhängigkeit der erbrachten Flexibilität kontinuierlich z. B. zwischen 80 % und 90 % ausgestaltet („Flexibilitätsband“). Das Flexibilitätsband könnte sukzessive auch niedriger beginnen – mit entsprechend niedrigeren Netzentgeltreduktionen.

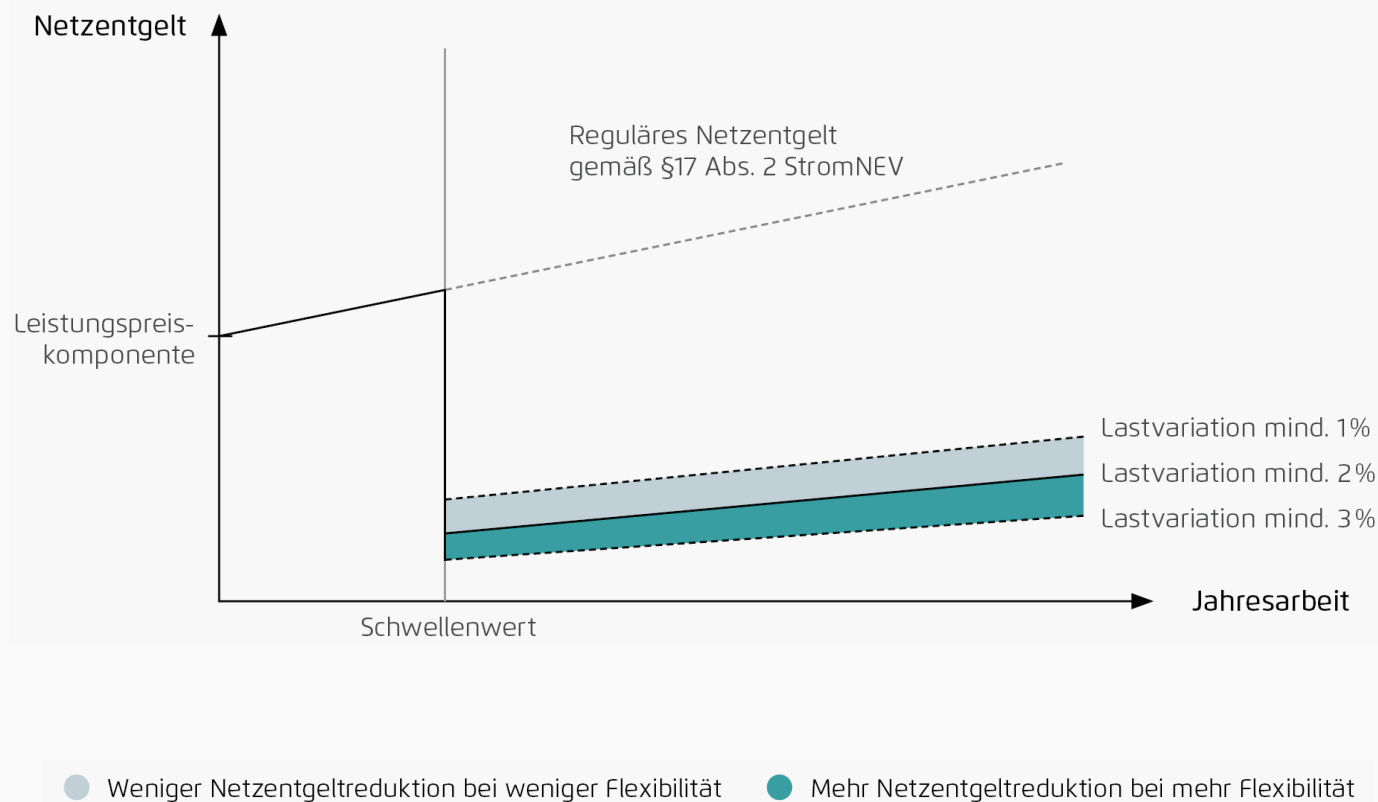
Alternativ zu einheitlichen Flexibilitätsanforderungen für alle Verbraucher könnte ein branchenspezifischer Top-Runner-Ansatz Grundlage für die Definition der Flexibilitätsanforderungen darstellen

- **Top-Runner-Ansatz:** Alternativ zu einheitlichen relativen Flexibilitätsanforderungen für alle energieintensiven Letztverbraucher könnten die Flexibilitätsanforderungen branchenspezifisch im Rahmen eines Top-Runner-Ansatzes definiert werden. Voraussetzung für den Erhalt von Sondernetzentgelten könnte in diesem Fall die Teilnahme am Branchenvergleich sein.
- **Prinzip:** Das Unternehmen, welches innerhalb einer Branche als flexibelstes Unternehmen identifiziert wurde, erhält Netzentgeltreduktionen von 90 Prozent. Alle anderen Unternehmen innerhalb dieser Branche würden sich dann je nach erbrachter Flexibilität darunter einordnen und entsprechend ihrer Flexibilisierung geringere Netzentgeltreduktionen erhalten. Dabei könnte ein Pfad abgeleitet werden, wonach weniger flexible Unternehmen nicht sofort schlechter gestellt werden, sondern erst dann, wenn sie vergleichbare Flexibilitätsanforderungen nicht innerhalb eines gewissen Zeitraums erreichen.

- **Vorteile:**
 - Trägt branchenspezifischen technologischen und organisatorischen Rahmenbedingungen für die Transformation Rechnung, da das Flexibilitätspotential der Branchen sehr unterschiedlich ist
 - Im Prinzip eine Art von Anreizregulierung im Sinne eines *Race to the top*
- **Herausforderungen:**
 - Stark ausgeprägte Branchen- und Produktdifferenzierung kann zu zu wenig Wettbewerb innerhalb der einzelnen Kategorien führen
 - Administrativer Aufwand zur Festlegung der Branchendifferenzierung

In der Kombination beider Reformvorschläge werden Netzentgeltreduktionen ab einem Schwellenwert der Jahresarbeit sowie in Abhängigkeit der Flexibilität gewährt

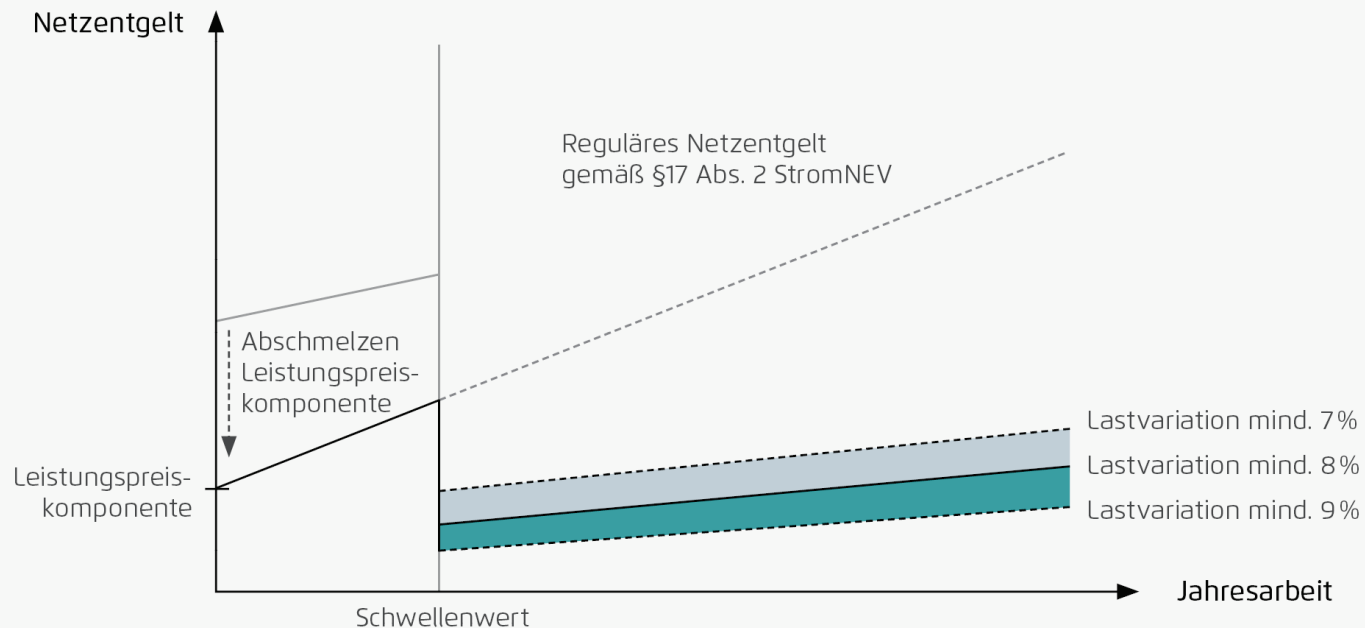
Zusammenwirken der Reformvorschläge für § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV und § 17 Abs. 2 StromNEV; dargestelltes Jahr: 2027



- Zukünftig ist die **Erbringung von Flexibilität** das **entscheidende Kriterium für die Gewährung von Sondernetzentgelten** für die über den Schwellenwert hinausgehende Jahresarbeit.
- Aufgrund des **hohen Gewichts des Leistungspreisanteils** am Netzentgeltaufkommen bleibt zunächst **eine Sprungstelle** bestehen, um eine starke Entlastung für die energieintensiven Letztverbraucher zu erzielen.
- Die **Einführung des Flexibilitätsbands** ermöglicht auch Reduktionen zwischen 80 % und 90 %, beispielsweise 83 %.
- Die **Anforderungen** an die Flexibilität bzw. Lastvariation sind für den **Einstieg** in die Flexibilisierung bewusst **niedrig** angesetzt, **steigen** jedoch über die Jahre hinweg **kontinuierlich** an.

Mit sinkendem Leistungspreis-Anteil verringert sich die Sprungstelle zwischen regulärem und reduziertem Netzentgelt

Zusammenwirken der Reformvorschläge für § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV und § 17 Abs. 2 StromNEV;
dargestelltes Jahr: 2033

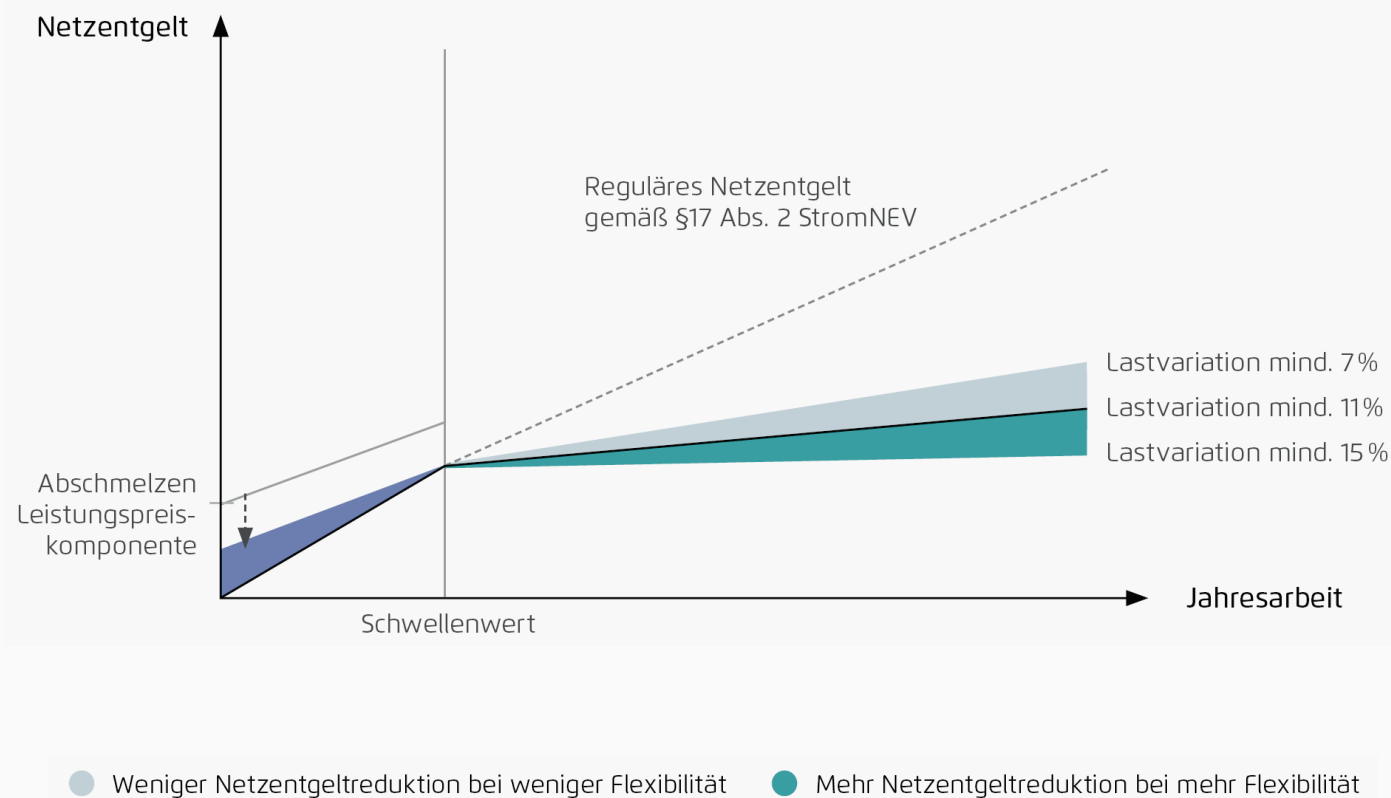


● Weniger Netzentgeltreduktion bei weniger Flexibilität ● Mehr Netzentgeltreduktion bei mehr Flexibilität

- Die **Sprungstelle ist zu Beginn relativ groß**, da der Leistungspreis den überwiegenden Anteil der Netzentgelte verursacht. Durch eine schrittweise **Reduzierung der Leistungspreiskomponente verringert** sich die Größe der **Sprungstelle** über die Zeit.
- Beim Übergang in die neue Netzentgeltsystematik des § 17 Abs. 2 StromNEV muss die **Arbeitspreiskomponente** die schrittweise erfolgende Reduktion der **Leistungspreiskomponente kompensieren**. Dies führt zu **steigenden Arbeitspreisen** und damit einem mit der Jahresarbeit steileren Anstieg der Netzentgelte
- Gleichzeitig **steigen** mit der Zeit die **Anforderungen** an die zu erfüllenden Lasterhöhungen und -reduktionen.

Langfristig dominiert die Arbeitspreiskomponente, die absoluten Netzentgelte steigen mit zunehmender Jahresarbeit – ohne Sprungstelle

Zusammenwirken der Reformvorschläge für § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV und § 17 Abs. 2 StromNEV;
dargestelltes Jahr: 2036



- Die **Anteile von Leistungs- und Arbeitspreiskomponente** haben sich **weitgehend bzw. vollständig** in Richtung der **Arbeitspreiskomponente** verschoben
- Aufgrund dieser Verschiebung würde die **Sprungstelle** für die Überwindung der Leistungspreiskomponente (vollkommen oder fast gänzlich) **wegfallen**.
- Dadurch würden im Zielbild (beispielsweise ab dem Jahr 2036) für alle Netznutzer die **Netzentgelte mit zunehmender Jahresarbeit kontinuierlich steigen**.

Im Zielbild könnte sich in dieser Ausgestaltung der Reformvorschlag für das Sondernetzentgelt – wie von der BNetzA in ihrem Eckpunktepapier betont – „effektiv in das Gesamtgefüge der Netzentgeltsystematik einfügen“.

Investitionsanreize des Reformvorschlags – Beispiel anhand einer Querschnittstechnologie (1/2)

(Fiktives) energieintensives Unternehmen

- Gehört zum Kreis der privilegierten Netznutzer gemäß § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV; **90-prozentige Netzentgeltreduktion**
 - Produktionsprozess zeichnet sich durch **hohen Bedarf an Prozessdampf** aus
 - Prozessdampfproduktion erfolgt bislang ausschließlich durch den Einsatz von Erdgas
 - Technische Parameter und Restriktionen:
 - Netzanschlusskapazität: 100 MW
 - Jährliche max. Lastspitze: 90 MW
 - Durchschnittliche jährliche Last: 60 MW
 - Maximale, durch Produktionsprozess erzielbare Lastvariation: $\pm 1,5 \%$
 - Flexibilitätsperspektive: Investition in einen Elektrodenkessel mit Investitionskosten in Höhe von 250 EUR/kW (Investitionskosten belaufen sich auf ca. 150–350 EUR/kW (Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen, 2024))
- Das Unternehmen steht vor der Situation, dass die durch den Kernproduktionsprozess max. erzielbare Lasterhöhung bzw. -reduktion in Höhe von $\pm 1,5 \%$ nur ausreicht, um bis einschließlich 2029 eine Netzentgeltreduktion zu erhalten.
 - Um die erheblichen Mehrkosten, die aus einem Verlust der Netzentgeltprivilegierung entstehen, zu vermeiden, wird das Unternehmen in **Flexibilisierungsmaßnahmen investieren**.
 - Eine **identifizierte Flexibilitätsperspektive** stellt ein **Elektrodenkessel** dar, um zukünftig den Prozessdampf sowohl strom- als auch gasbasiert erzeugen zu können.
 - Das Unternehmen hat derzeit eine Netzanschlusskapazität in Höhe von 100 MW, die jährliche Lastspitze (nur abhängig vom industriellen Kernproduktionsprozess) beträgt 90 MW und die durchschnittliche Last beträgt 60 MW.
 - Soll die Notwendigkeit des Neubaus eines zusätzlichen Netzanschlusses vermieden werden, ist die aktuelle Netzanschlusskapazität zu berücksichtigen.

Investitionsanreize des Reformvorschlags – Beispiel anhand einer Querschnittstechnologie (2/2)

- Bei den gegebenen Rahmenbedingungen könnte das beispielhaft betrachtete Unternehmen mit der durch den Produktionsprozess vorhandenen Flexibilität im Jahr 2027 eine Netzentgeltreduktion in Höhe von 90 %, im Jahr 2028 in Höhe von 85 % und im Jahr 2029 in Höhe von 80 % erhalten.

Ab dem Jahr 2030 würde gemäß dem skizzierten Pfad (vgl. Folie 26) die **Flexibilität nicht mehr ausreichen, um reduzierte Netzentgelte in Anspruch nehmen zu können.**

- Das Unternehmen würde sich deshalb entscheiden, in einen **Elektrodenkessel** mit einer max. Leistung von 10 MW zu **investieren** und zukünftig den sehr flexibel steuerbaren Kessel als Flexibilitätstechnologie einsetzen (Annahme: Eine flexible Fahrweise des Produktionsprozesses ist mit höheren Kosten verbunden als eine flexible Steuerung des Elektrodenkessels, bspw. durch einen höheren Materialverschleiß durch das Hoch- und Runterfahren).
 - Würde der Elektrodenkessel zukünftig kontinuierlich mit halber Last betrieben werden (5 MW), so würde sich die durchschnittliche Last des Unternehmens auf 65 MW erhöhen.
 - Für eine Netzentgeltreduktion in Höhe von 90 % bedarf es im Jahr 2036 gemäß dem skizzierten Pfad einer Lastanpassung von mindestens $\pm 7,5 \%$

- Die Last des Elektrodenkessels müsste demnach um mindestens $\pm 4,875$ MW erhöht und reduziert werden, um eine Netzentgeltreduktion in Höhe von 90 % zu erhalten
- Mit einer max. Leistung des Elektrodenkessels in Höhe von 10 MW wäre dies realisierbar (sogar ohne Erweiterung des Netzanschlusses)

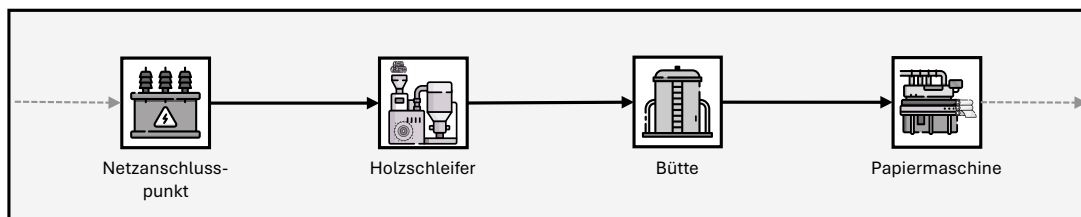
- Die Investitionskosten für die Erschließung der identifizierten Flexibilitätsperspektive würden rund 2,5 Mio. EUR betragen.
- Im Hinblick auf die **Mehrkosten**, die mit einem **etwaigen Verlust einer Netzentgeltprivilegierung** einhergeht, **amortisiert sich diese Investition bereits nach wenigen Jahren.**

Fallstudie

Fallstudie eines Papierproduzenten in Süddeutschland: Einführung und methodisches Vorgehen

Überblick zur Fallstudie

- Das **betrachtete Flexibilitätspotenzial** besteht bei der Papierherstellung im vorgelagerten Prozess der **Halbstoffproduktion**.
- Das Fallbeispiel ist deshalb **beispielhaft** für einen **großen Anteil der Industrie** mit **eher geringerer Flexibilität im Kernproduktionsprozess**, dafür **häufig umso flexibleren vor- und nachgelagerten Prozessen**.
- Das Flexibilitätspotenzial wird heute bereits durch den Papierhersteller im Rahmen der regulatorischen Möglichkeiten genutzt, jedoch aufgrund der **Benutzungstundenregelung stark gehemmt**.
- Sowohl bei **aktueller Produktion** als auch bei einer **Erhöhung der Papiernachfrage** wirkt sich **unser Reformvorschlag** im Vergleich zur aktuellen Ausgestaltung der Sondernetzentgelte **finanziell vorteilhaft für das Unternehmen aus**.



Eigene Darstellung des im Rahmen der Fallstudie betrachteten Produktionsprozesses (FIM, 2024) basierend auf Bockhacker et al. (2024) und SynErgie (2021)

Rahmenbedingungen und methodisches Vorgehen

- Ziel: Vergleich des Reformvorschlags mit der gegenwärtigen Berechnungssystematik des § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV.
- **Betrachtung des Jahres 2022** mit durchschnittlichen Strompreisen in Höhe von 249,80 EUR/MWh und einer Standardabweichung von 146,05 EUR/MWh; das Preisniveau ist für die Flexibilitätserbringung nicht relevant, die erhöhte Volatilität ist hingegen für die Flexibilitätsvermarktung entscheidend.
- Alle technischen Parameter sowie das Produktionsprogramm, welche der Simulation zugrunde liegen, basieren auf **Realdaten eines Papierherstellers**.
- Das betrachtete Unternehmen **produziert** Papier an **sechs Tagen pro Woche**.
- Der Netzentgeltberechnung liegt ein Arbeitspreis von 1,20 EUR/MWh und Leistungspreis von 97.260 EUR/MW zugrunde. Die Daten stammen aus dem Preisblatt des Netzbetreibers, in dessen Netzgebiet sich das Unternehmen befindet.
- Die auf der nachfolgenden Folie beschriebenen Optimierungsszenarien wurden in Python programmiert und mit der Optimierungssoftware Gurobi gelöst.

Beschreibung der drei Szenarien zu Netzentgeltallokationen

Betrachtung von drei Szenarien, um die Auswirkungen verschiedener Netzentgeltallokationen auf den Flexibilitätseinsatz zu analysieren

1) Optimierung der Flexibilität rein am Börsenstrompreis:

- In diesem Szenario optimiert das Unternehmen den Produktionsprozess sowie den Einsatz der Energieflexibilität ausschließlich anhand des Day-Ahead-Strompreises. Eine Berücksichtigung und Berechnung der Netzentgelte erfolgt in diesem Fall erst nach der Optimierung.

2) Einsatz der Flexibilität im Status quo § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV:

- In diesem Szenario optimiert das Unternehmen den Produktionsprozess sowie den Einsatz der Energieflexibilität anhand des Day-Ahead-Strompreises und unter Berücksichtigung der für den Erhalt von Sondernetzentgelten zu erbringenden Jahresbenutzungsstunden. Aufgrund technischer sowie produktionsbedingter Restriktionen kann das Unternehmen nur weniger als 8.000 Benutzungsstunden erbringen, womit gemäß § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV im Status quo eine Netzentgeltreduktion von bis zu 85 % erzielt werden kann.

3) Einsatz der Flexibilität in Reformvorschlag zu § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV:

- In diesem Szenario optimiert das Unternehmen den Produktionsprozess sowie den Einsatz der Energieflexibilität anhand des Day-Ahead-Strompreises und unter Berücksichtigung der für den Erhalt von Sondernetzentgelten zu erbringenden Lastvariation. Die Berechnungen werden beispielhaft für den Fall einer Festlegung der Hochlast-, Standardlast- und Niedriglastfenster auf Quartalsebene quantifiziert. Das Unternehmen unterschreitet so beispielsweise in mindestens 548 Hochlaststunden seine durchschnittliche aus dem Netz bezogene Last innerhalb eines Quartals um mindestens 4,0 % und erhöht diese gleichzeitig in mindestens 548 Niedriglaststunden innerhalb eines Quartals um mindestens 4,0 %, um eine Netzentgeltreduktion in Höhe von 85 % erhalten. Für eine Netzentgeltreduktion in Höhe von 80 % müsste die Last um mindestens $\pm 3,5$ % und für eine Netzentgeltreduktion in Höhe von 90 % um mindestens $\pm 4,5$ % variiert werden (Quantifizierung für eine quartalsweise Betrachtung mit den Flexibilitätsanforderungen für das Jahr 2033).

Auswirkung der drei Szenarien zu Netzentgeltallokationen

	Optimierung der Flexibilität rein am Börsenstrompreis	Einsatz der Flexibilität im Status quo § 19 Abs. 2 S. 2 StromNEV	Einsatz der Flexibilität in unserem Vorschlag § 19 Abs. 2 S. 2 StromNEV
 Jahresarbeit [GWh]	544	544	544
 Lastspitze [MW]	96	77	96
 Benutzungsstunden	5.670	7.068	5.672
 Stromkosten [EUR]	122.216.777	127.053.258	122.216.777
 Netzentgelte [EUR]	9.990.252	1.628.432	999.034
 Gesamtkosten [EUR]	132.207.029	128.681.690	123.215.811
 Emissionen [t CO ₂]	208.268	211.621	208.279

Auswirkung der drei Szenarien zu Netzentgeltallokationen

Optimierung der Flexibilität rein am Börsenstrompreis

- Durch eine Optimierung der Flexibilität rein am Börsenstrompreis sind mit ca. 122,2 Mio. EUR die **mengewichteten Day-Ahead-Strompreise am geringsten**
- Durch eine fehlende Berücksichtigung der Netzentgelte bei der Optimierung des Produktionsprozesses (ex-post Ermittlung) sind die **Netzentgelte unter allen betrachteten Szenarien am höchsten**
- Aufgrund der hohen Korrelation zwischen niedrigen Day-Ahead-Preisen und niedrigen CO₂-Emissionen liegen in diesem Szenario die **geringsten produktionsbedingten CO₂-Emissionen vor**

Einsatz der Flexibilität im Status quo § 19 Abs. 2 S. 2 StromNEV

- Verglichen mit der Optimierung rein am Börsenpreis liegen die **mengewichteten Day-Ahead-Strompreise um fast 5 Mio. EUR höher**, da die zu erfüllenden Benutzungsstunden den Flexibilitätseinsatz einschränken
- **Inanspruchnahme individueller Netzentgelte führt dennoch zu der gesamtkostenminimalen Lösung unter der jetzigen Regulierung** (Gesamtkosten des Strombezugs können um 2,67 % im Vergleich zu einer reinen Optimierung der Flexibilität am Day-Ahead-Preissignal reduziert werden)
- Szenario zeichnet sich trotz der gesamtkostenminimalen Lösung durch die **höchsten produktionsbedingten CO₂-Emissionen** aus

Einsatz der Flexibilität in unserem Vorschlag § 19 Abs. 2 S. 2 StromNEV

- Der vorgestellte Weiterentwicklungsvorschlag führt zu einer **nahezu vollständigen Hebung des Energieflexibilitätspotenzials**
- Das Unternehmen kann eine **strombezugs-kostenminimale Lösung bei gleichzeitigem Erhalt einer Netzentgeltreduktion** in Höhe von 90 % erzielen und ist damit – verglichen mit den beiden anderen Szenarien – finanziell bessergestellt
- Hinsichtlich der mit der Papierproduktion verbundenen **CO₂-Emissionen** sind – **verglichen mit dem Flexibilitätseinsatz im Status quo – deutliche Reduktionen erzielbar**

Auswirkung der drei Szenarien zu Netzentgeltallokationen im Falle einer Erhöhung der Papiernachfrage um 22 %

	Optimierung der Flexibilität rein am Börsenstrompreis	Einsatz der Flexibilität im Status quo § 19 Abs. 2 S. 2 StromNEV	Einsatz der Flexibilität in unserem Vorschlag § 19 Abs. 2 S. 2 StromNEV
 Jahresarbeit [GWh]	588	588	588
 Lastspitze [MW]	96	78	96
 Benutzungsstunden	6.129	7.541	6.129
 Stromkosten [EUR]	133.344.073	139.848.795	133.344.073
 Netzentgelte [EUR]	10.042.966	1.658.437	1.079.628
 Gesamtkosten [EUR]	143.387.039	141.507.232	134.423.701
 Emissionen [t CO ₂]	226.387	230.279	226.398

Auswirkung der drei Szenarien zu Netzentgeltallokationen im Falle einer Erhöhung der Papiernachfrage um 22 %

- Durch die **höhere Papiernachfrage** ist es nun unter den gegenwärtigen regulatorischen Rahmenbedingungen am wirtschaftlichsten, eine Netzentgeltreduktion in Höhe von 85 % in Anspruch zu nehmen. Das Unternehmen **reduziert** die **Vermarktung seiner Flexibilitätspotenziale**, weil die möglichen **Einsparungen** durch eine **optimierte Flexibilitätsvermarktung** am Day-Ahead-Markt nun **geringer** sind **als** die mit einer Erhöhung der Konstanz im Produktionsprozess (Steigerung der Benutzungsstundenzahl auf mindestens 7.500) **erzielbaren Netzentgeltreduktionen**.
- Der **präsentierte Reformvorschlag** kann diesem Fehlanreiz entgegensteuern:
 - Der Reformvorschlag reizt das Unternehmen dazu an, **das gesamte ökonomische und nahezu das gesamte ökologische Potenzial** der auslastungsbedingt verringerten Energieflexibilität **einzusetzen**.
 - Im direkten Vergleich mit der gegenwärtigen Ausgestaltung des § 19 Abs. 2 Satz 2 StromNEV können die **unmittelbaren Strombezugskosten um 4,65 %** und die **CO₂-Emissionen um fast 1,7 % gesenkt** werden.

- Weiterhin ist es dem Unternehmen möglich, auch die **Netzentgelte gegenüber dem Status Quo um 34,9 % zu reduzieren**:
 - Da für die Netzentgeltermittlung die vier Quartale separiert voneinander betrachtet werden, muss das Unternehmen nur für zwei Quartale höhere Netzentgelte durch den geringeren Flexibilitätseinsatz bezahlen (4,5 % Lastvariation kann durch höhere Nachfrage nicht mehr erbracht werden).
 - Das „Flexibilitätsband“ zwischen 80 % und 90 % führt dazu, dass im ersten Quartal eine Reduktion in Höhe von 88 % (statt 85 % bei diskreten Reduktionsstufen) und im dritten Quartal eine Reduktion in Höhe von 81 % (statt 80 % bei diskreten Reduktionsstufen) erreicht werden.

Auswirkung der drei Szenarien zu Netzentgeltallokationen im Falle einer Erhöhung der Papiernachfrage um 26 %

	Optimierung der Flexibilität rein am Börsenstrompreis	Einsatz der Flexibilität im Status quo § 19 Abs. 2 S. 2 StromNEV	Einsatz der Flexibilität in unserem Vorschlag § 19 Abs. 2 S. 2 StromNEV
 Jahresarbeit [GWh]	596	596	596
 Lastspitze [MW]	96	78	96
 Benutzungsstunden	6.212	7.644	6.129
 Stromkosten [EUR]	135.465.018	142.825.572	135.465.018
 Netzentgelte [EUR]	10.052.633	1.660.353	3.493.291
 Gesamtkosten [EUR]	145.517.651	144.485.925	138.958.309
 Emissionen [t CO ₂]	229.759	233.923	229.759

Auswirkung der drei Szenarien zu Netzentgeltallokationen im Falle einer Erhöhung der Papiernachfrage um 26 %

- Die erneute Erhöhung der Papiernachfrage führt dazu, dass die zu erfüllende **Lastvariation** in Höhe von mind. $\pm 3,5\%$ in **einem der vier Quartale nicht erfüllt** wird.
 - **Im betroffenen Quartal verliert** das Unternehmen den Anspruch auf ein **reduziertes Netzentgelt**:
 - Das reguläre Netzentgelt, welches sich gemäß § 17 Abs. 2 StromNEV ermittelt, ist nun zu entrichten.
 - Um die Mehrkosten zu reduzieren, würde der Papierhersteller die verfügbare Energieflexibilität in diesem Quartal rein anhand der Börsenstrompreise optimieren.
 - In den **drei verbleibenden Quartalen** liegen die jeweils erbrachten Lasterhöhungen und -reduktionen deutlich über den Anforderungen **für die Netzentgeltreduktionen**.
- Mit dem präsentierten **Reformvorschlag** kann das **gesamte ökonomische und ökologische Potenzial** der auslastungsbedingt verringerten Energieflexibilität **gehoben** werden:
 - Zwar sind die Netzentgelte mit dem Szenario eines Flexibilitätseinsatzes unter den gegenwärtigen regulatorischen Rahmenbedingungen mehr als doppelt so hoch, insgesamt kann jedoch mit dem präsentierten **Reformvorschlag** eine **strombezugskosten- und gesamtkostenminimale Lösung** erzielt werden.
 - Die produktionsbedingten **CO₂-Emissionen sind** – gemeinsam mit dem Szenario einer reinen Optimierung der Flexibilität am Börsenstrompreis – **am geringsten**.

Literaturverzeichnis

Bockhacker, T., Förster, R., Kerpedzhiev, G., Buhl, H. U. (2024). Stolperstein der Energiewende: Die Stromnetzentgeltverordnung in Deutschland-Erkenntnisse einer Fallstudie aus der Papierindustrie. Zeitschrift für Energiewirtschaft, 48(2), 34-57.

Buhl H. U., Gabrek N., Gerdes J., Kaymakci C., Rauland K., Richter F., Sauer A., Schneider C., Schott P., Seifermann S., Tristán A., Wagner J., Wagon F., Weibelzahl M., Weissflog J., Zachmann B. (2021). Industrial Flexibility Options and their Applications in a Future Energy System. DOI: <https://doi.org/10.24406/fit-n-639062>

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2024). Nettostromverbrauch nach Verbrauchergruppen. Online verfügbar unter: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/nettostromverbrauch-nach-verbrauchergruppen/>

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024). EU-Mitgliedstaaten betonen Bedeutung der Flexibilisierung des europäischen Energiesystems als wesentliches Element der Energiewende. Online verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/03/20240304-eu-mitgliedstaaten-bedeutung-flexibilisierung-europaeisches-energiesystem-energiegewende.html>

Bundesnetzagentur (2023). Bericht zu Stand und Entwicklung der Versorgungssicherheit im Bereich der Versorgung mit Elektrizität. Online verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/versorgungssicherheit-strom-bericht-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Bundesnetzagentur (2024). Eckpunktepapier zur Fortentwicklung der Industriernetzentgelte im Elektrizitätsbereich. Online verfügbar unter: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK4-GZ/2024/BK4-24-0027/BK4-24-0027_Eckpunktepapier_24072024.pdf?__blob=publicationFile&v=4

Klimaschutz- und Energieagentur Niedersachsen (2024). Dampferzeugung. Technologien zur Dekarbonisierung der Prozesswärme. Online verfügbar unter:

https://www.nachhaltigkeitsallianz.de/wp-content/uploads/2024/09/2024_KEAN_Faktenblatt_Dampferzeugung.pdf

Sauer, A., Buhl, H. U., Mitsos, A., Weigold, M. (2022). Energieflexibilität in der deutschen Industrie. Band 2. Markt- und Stromsystem, Managementsysteme und Technologien energieflexibler Fabriken. Fraunhofer Verlag.

Sauer, A., Abele, E., Buhl, H. U. (2019). Energieflexibilität in der deutschen Industrie: Ergebnisse aus dem Kopernikus-Projekt-Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung (SynErgie). Fraunhofer Verlag.

SynErgie (2019a). Das Projekt »FlexASU«. Online verfügbar unter: https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/09/20190724_SynErgie_Flyer_FlexASU_Digital.pdf

SynErgie (2019b). Das Projekt »FLEX-Elektrolyse«. Online verfügbar unter: https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/09/20190724_SynErgie_Flyer_Flex-Elektrolyse_Digital.pdf

SynErgie (2021). Netzentgelte-Demonstrator. Online verfügbar unter: <https://synergie-projekt.de/ergebnis/netzentgelte-demonstrator>

Impressum

Agora Energiewende und Agora Industrie

Agora Think Tanks gGmbH

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2, D-10178 Berlin

T +49 (0) 30 7001435-000

www.agora-industrie.de | www.agora-energiewende.de
info@agora-industrie.de | info@agora-energiewende.de

Projektleitung

Helen Rolfig

helen.rolfig@agora-industrie.de

Philipp Godron

philipp.godron@agora-energiewende.de

Autorinnen und Autoren

Helen Rolfig, Dr. Julia Metz (Agora Industrie)

Philipp Godron, Thorsten Lenck (Agora Energiewende)

Andreas Jahn (Regulatory Assistance Project)

Prof. Dr. Dr. h. c. Hans Ulrich Buhl, Markus Pichlmeier,
Michael Schneider (FIM Forschungsinstitut für
Informationsmanagement)