

Der belastbare FCA. Regelbasiert statt starr.

Ein Speicher, zwei Netzgebiete, fünf Verträge. Eine Einspeisegrenze, die dem Netzzustand folgt, kostet den Speicher unter einem Prozent Erlös, im Norden wie im Süden. Der Netzbetreiber bekommt dafür eine Garantie, die er sonst nicht hätte. Teuer wird ein flexibler Netzanschluss erst durch starre Klauseln.

0,6%

Erlösverlust durch die **regelbasierte Einspeisegrenze** in Nordfriesland, windgeprägt.

0,07%

Erlösverlust durch dieselbe Art Grenze in **Niederbayern**, PV-geprägt.

33%

Erlösverlust, wenn der Vertrag die **Regelleistung** ausschließt. Der Kapitalwert halbiert sich.

UNSERE POSITION

Der regelbasierte FCA ist ein Risikotransfer zum Nulltarif. Er verteilt das Netzrisiko dorthin, wo es am wenigsten kostet: zum Speicher, der als einziges Asset der Grenze ausweichen kann. Netzbetreiber sollten regelbasierte Grenzen anbieten und dafür die Regelleistung freigeben. Anschlussnehmer sollten regelbasierte Grenzen annehmen und starre Klauseln nicht.

DIE STUDIE

inframind hat für ein windgeprägtes Netzgebiet in Nordfriesland und ein PV-geprägtes in Niederbayern berechnet, wie viel Leistung das Netz je Viertelstunde aufnehmen kann. minimum energy hat einen 10-MW-Speicher mit dieser Grenze als Randbedingung über das ganze Jahr 2025 optimiert, gegen den uneingeschränkten Betrieb und gegen vier Vertragsvarianten.

EINE GEMEINSAME STUDIE VON

minimum
energy

 inframind

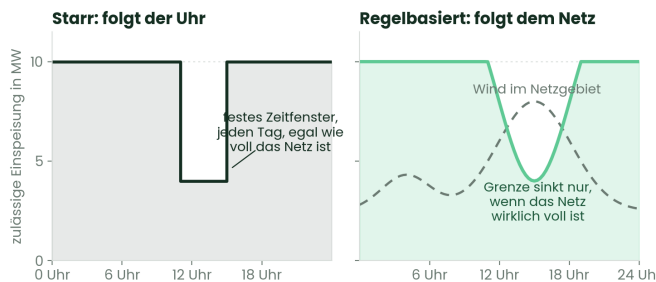
01 WORUM ES GEHT

Ein Speicher, zwei Netze, fünf Verträge.

Ein flexibler Netzanschluss bringt den Speicher früher ans Netz, aber mit Auflagen. Was die Auflagen kosten, hängt davon ab, wie sie gebaut sind: Folgen sie dem Netz, oder gelten sie starr?

Grafik 1 · Zwei Bauarten einer Einspeisegrenze

Regelbasiert: Die Grenze folgt dem Netzzustand, je mehr Wind oder PV im Netzgebiet einspeisen, desto weniger darf der Speicher. **Starr:** Die Klausel gilt unabhängig vom Netz, etwa als festes Zeitfenster, Regelleistungsausschluss oder Rampe.



Schematisch, nicht die gerechneten Grenzen. Regelbasiert: oberhalb eines Knickpunkts der Wind- oder PV-Einspeisung im Netzgebiet sinkt die zulässige Leistung linear.

DER SPEICHER

10 MW Leistung, 20 MWh Kapazität, reiner Tradingspeicher. Er handelt an den Spotmärkten und hält Regelleistung vor. Ohne Einschränkung verdient er **2,18 Millionen Euro im Jahr**, die Hälfte davon mit Regelleistung. Kapitalwert über 20 Jahre: 15 Millionen Euro. Das ist die Referenz.

DIE ZWEI NETZE

Nordfriesland: Das Netz wird eng, wenn der Wind weht.

Niederbayern: Das Netz wird eng, wenn im Sommer mittags die Sonne scheint. Für beide hat inframind aus dem Netzmodell eine regelbasierte Einspeisegrenze je Viertelstunde des Jahres 2025 abgeleitet.

Tabelle 1 · Die fünf Verträge

Derselbe Speicher, dieselben Preise. Nur der Vertragstext ändert sich.

Vertrag	Typ	Was er erlaubt	Regelleistung
Referenz	kein FCA	Voller Anschluss, keine Einschränkung	erlaubt
Einspeisegrenze	regelbasiert	Grenze aus dem Netzmodell, sonst nichts	erlaubt
Grenze, keine Regelleistung	starr	Der Vertrag schließt FCR und aFRR aus	ausgeschlossen
dazu Rampe 2 %/min	starr	Von null auf 10 MW in 50 Minuten	ausgeschlossen
dazu Rampe 0,5 %/min	starr	Von null auf 10 MW in 200 Minuten	ausgeschlossen

Rechtlicher Rahmen: § 17 Abs. 2b EnWG. Der Abschluss ist für beide Seiten freiwillig. Die vereinbarte Grenze ist verbindlich, die Haftung bei Überschreitung regelt der Vertrag. Für Energie, die wegen der Grenze nicht eingespeist wird, gibt es keine Entschädigung.

INFRAMIND RECHNET DAS NETZ

Ein Netzmodell aus offenen Geodaten und dem Marktstammdatenregister zeigt je Viertelstunde, wie viel Leistung am Anschlusspunkt frei ist. Daraus entsteht die Einspeisegrenze.

MINIMUM ENERGY RECHNET DEN ERLÖS

Die Grenze geht als Randbedingung in die Einsatzoptimierung des Speichers, 35.040 Viertelstunden lang. Der Unterschied im Erlös zwischen zwei Verträgen ist der Preis der Klausel.

KERNAUSSAGE

Die Frage ist nicht, ob sich ein flexibler Netzanschluss rechnet. Die Frage ist, welche Zeile im Vertrag den Erlös bewegt. Deshalb rechnen wir jede Klausel einzeln.

02 DAS ERGEBNIS

Die regelbasierte Grenze kostet 0,6 Prozent. Die starren Klauseln kosten ein Drittel und mehr.

Drei Klauseln, drei sehr unterschiedliche Preise. Die Reihenfolge ist das eigentliche Ergebnis.

REGELBASIERTE EINSPEISEGRENZE

-0,6 % Erlös

13.000 Euro weniger im Jahr in Nordfriesland, 1.600 Euro in Niederbayern (0,07 Prozent). Die Grenze verschiebt etwas Regelleistungsvorhaltung. Die Arbitrage bleibt praktisch unberührt.

REGELLEISTUNG AUSGESCHLOSSEN

-33 % Erlös

Der Speicher fährt mehr Arbitrage und holt 370.000 Euro zusätzlich aus dem Spotmarkt. Das ersetzt ein Drittel der 1,1 Millionen Euro Regelleistung. Der Kapitalwert halbiert sich von 15,0 auf 7,9 Millionen Euro.

RAMPE OBENDRAUF

-4 % bei 2 %/min · -14 % bei 0,5 %/min

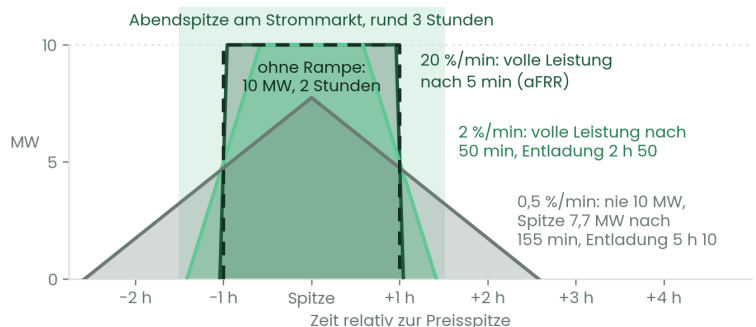
Zusätzlich zum Ausschluss. Eine Anlage, die 200 Minuten bis zur vollen Leistung braucht, erreicht die Preisspitze nur noch zur Hälfte. Gesamt: 43 Prozent weniger Erlös, 61 Prozent weniger Kapitalwert.

HILFT ANTEILIGE REGELLEISTUNG? WENIG.

FCR verlangt die volle Leistung in 30 Sekunden und fällt bei jeder Rampe weg. aFRR verlangt sie in fünf Minuten, also 20 Prozent pro Minute. Mit einer Rampe von 2 Prozent pro Minute dürfte ein Zehntel der Leistung am aFRR-Markt teilnehmen. Das sind überschlägig **100.000 Euro statt einer Million**. Der Speicher landet wieder bei rund einem Drittel Verlust, praktisch beim Ausschluss.

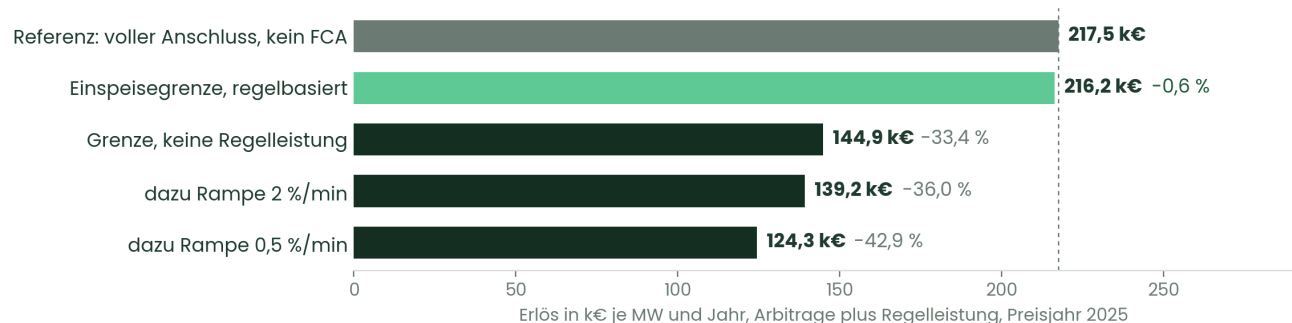
Grafik 3 · Was eine Rampe physisch macht

Entladung von 20 MWh um eine Preisspitze. Bei 0,5 Prozent pro Minute erreicht der Speicher die Nennleistung nie und braucht über fünf Stunden.



Grafik 2 · Erlös je Megawatt und Jahr, fünf Verträge, Nordfriesland

Delta jeweils gegenüber der Referenz ohne FCA. Preisjahr 2025.



Quelle: minimum energy Einsatzoptimierung, Preisdaten 2025 (ENTSO-E, regelleistung.net), Einspeisegrenze inframind. Perfekte Voraussicht, reale Handelsergebnisse liegen typischerweise 10 bis 20 Prozent unter dem Optimum. Rampenwerte sind Untergrenzen, anteilige aFRR-Teilnahme ist ein Überschlag, siehe Methodik.

KERNAUSSAGE

Die regelbasierte Einspeisegrenze ist die günstigste Klausel im Vertrag, der Regelleistungsausschluss die teuerste. Wer über "den FCA" im Ganzen urteilt, bewertet keine von beiden.

03 WARUM

Die Grenze greift, wenn der Strom billig ist. Der Speicher verdient, wenn er teuer ist.

Netzengpass und niedriger Preis haben dieselbe Ursache: viel Wind oder viel Sonne. In diesen Stunden will der Speicher gar nicht einspeisen.

153 €/MWh

Mittlerer Preis, zu dem der Speicher einspeist

63 €/MWh

Mittlerer Preis, wenn die Grenze im Norden greift. Jahresmittel: 89 €/MWh

35 €/MWh

Mittlerer Preis, wenn die Grenze im Süden greift

NORDEN, WINDGEPRÄGT

Die Grenze greift von September bis Januar, rund um die Uhr. Sie trifft vor allem die Regelleistung, die der Speicher in diesen Stunden vorhält. **Das kostet 0,6 Prozent.**

SÜDEN, PV-GEPRÄGT

Die Grenze greift von April bis August, mittags zwischen 12 und 16 Uhr. Genau dann lädt der Speicher, weil der Strom billig ist. Eine Einspeisegrenze trifft ihn kaum. **Das kostet 0,07 Prozent.**

FÜR DEN NETZBETREIBER

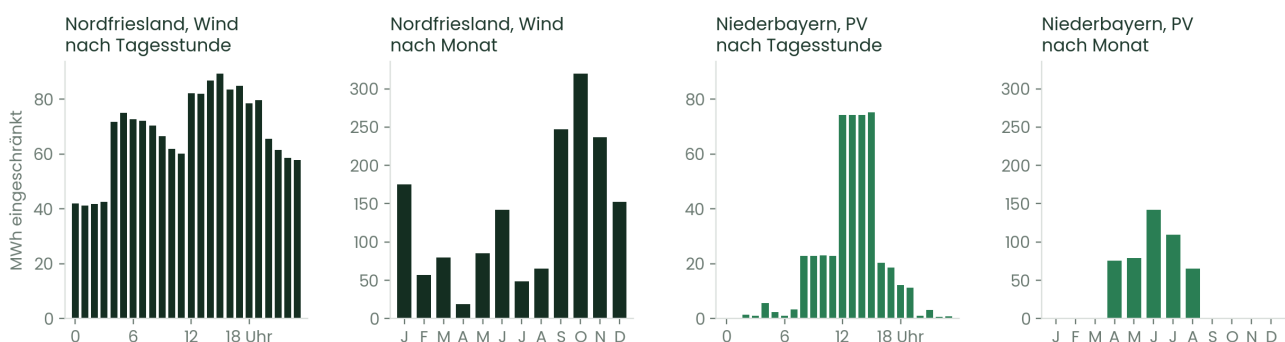
Die Grenze greift physisch, in 14 Prozent der Viertelstunden. Ohne Vertrag **könnte** der Speicher in einer Sturmstunde mit hohem Preis einspeisen. Mit Vertrag kann er es nicht. Aus einer Wahrscheinlichkeit wird eine Garantie.

UNSERE LESART

Ein Risikotransfer zum Nulltarif. Der Netzbetreiber bekommt eine Garantie, die er sonst nur mit Netzausbau oder Redispatch hätte. Der Speicher zahlt dafür weniger als ein Prozent, weil er der Grenze ausweichen kann: Er lädt, wenn das Netz voll ist, und speist ein, wenn es leer ist. Das gilt unter drei Bedingungen: Die Grenze folgt dem Netz statt der Uhr, sie ist einen Tag im Voraus bekannt, und die Regelleistung bleibt erlaubt. Eine starre Grenze nach Uhrzeit bricht die erste Bedingung. Externe Rechnungen zeigen dafür rund 16 Prozent Erlösverlust (EERA Consulting, feste PV-Hüllkurve, 2025). Wir haben sie noch nicht gerechnet.

Grafik 4 · Wann die Grenze greift: im Norden rund um die Uhr im Herbst, im Süden mittags im Sommer

Leistung, die der Speicher wegen der Grenze weniger einspeisen oder vorhalten kann, in MWh je Tagesstunde und je Monat.



Quelle: minimum energy Einsatzoptimierung, Referenz gegen Einspeisegrenze, 35.040 Viertelstunden 2025. Einspeisegrenze: inframind Netzsimulation.

KERNAUSSAGE

Der regelbasierte FCA kostet den Speicher fast nichts und gibt dem Netzbetreiber eine Garantie statt einer Wahrscheinlichkeit. Er verteilt das Risiko dorthin, wo es am wenigsten kostet. Das ist ein guter Deal für beide Seiten, solange der Vertrag die Regelleistung nicht antastet.

04 DAS GESPRÄCH MIT DEM NETZBETREIBER

Drei Klauseln entscheiden. Und das Jahresprofil.

Ein FCA ist eine Verhandlung, keine Zuteilung. Diese drei Punkte gehören auf den Tisch, mit dem Preis, den die Rechnung dafür liefert.

1

Regelbasiert statt starr

Die Grenze soll aus dem Netzzustand kommen, aus der Wind- oder PV-Einspeisung im Netzgebiet, nicht aus der Uhrzeit. So arbeitet zum Beispiel Schleswig-Holstein Netz mit dynamischen Bändern. Eine regelbasierte Grenze kann der Anschlussnehmer annehmen, ohne seinen Business Case zu gefährden.

Preis: unter 1 Prozent Erlös. Starr: ein Vielfaches.

2

Regelleistung ausnehmen

Die Klausel, die den Kapitalwert halbiert oder erhält. Anteilige Teilnahme rettet wenig, weil aFRR 20 Prozent pro Minute verlangt. Geht die Ausnahme nicht, hilft eine Grenze, die einen Tag im Voraus feststeht, damit der Speicher seine Gebote darauf ausrichten kann.

Preis des Ausschlusses: 33 Prozent Erlös, halber Kapitalwert.

3

Rampen nur, wo das Netz sie braucht

Jede Rampe unter 20 Prozent pro Minute ist ein versteckter Regelleistungsausschluss. Wer eine Rampe akzeptiert, nimmt die Regelleistung aus der Rampe heraus.

Preis für den Arbitragebetrieb: 4 Prozent bei 2 %/min, 14 Prozent bei 0,5 %/min.

NORD UND SÜD IM GESPRÄCH

Im Norden ist die Regelleistung der Punkt, über den es sich zu reden lohnt. Die Grenze selbst trifft den Speicher kaum, aber sie berührt die Vorhaltung.

Im Süden ist die Einspeisegrenze am Mittag fast egal. Dort lohnt der Blick auf alles, was der Vertrag sonst noch starr regelt.

WAS ZURÜCK AN DEN NETZBETREIBER GEHT

Der optimierte Betrieb erzeugt ein Jahresprofil am Netzanschlusspunkt, 35.040 Werte. Es zeigt, wann der Speicher das Netz belastet und wann er es entlastet. In Nordfriesland speist er fast nur ein, wenn wenig Wind im Netz ist. Wer mit diesem Profil zum Netzbetreiber geht statt mit einer Anfrage über 10 Megawatt, führt ein anderes Gespräch. Die Grenze lässt sich auf das Profil zuschneiden statt auf den Worst Case.

Für EPCs und Projektierer

"FCA oder warten" bekommt eine Zahl je Klausel. Der Kunde entscheidet über Vertragstext statt über Bauchgefühl.

Für Investoren

Bankability hängt an der Regelleistungsklausel und an der Rampe, nicht an der regelbasierten Grenze. Die Grenze ist kein Grund, ein Projekt schlechter zu bewerten.

Für Versorger und Stadtwerke

Wer beide Seiten sieht, bietet eine Grenze an, die das Netz schützt, ohne den Erlös des Kunden zu kappen.

Für Netzbetreiber

Die regelbasierte Grenze liefert die Garantie fast zum Nulltarif. Der faire Gegenzug: Regelleistung freigeben, Rampen nur wo nötig, keine starren Deckel.

UNSERE POSITION

Netzbetreiber sollten regelbasierte Grenzen anbieten und dafür die Regelleistung freigeben.

Anschlussnehmer sollten regelbasierte Grenzen annehmen und starre Klauseln nicht. Beides lässt sich Zeile für Zeile rechnen, bevor jemand unterschreibt.

METHODIK, AUTOREN UND KONTAKT

Was wir gerechnet haben, und was nicht.

Gerechnet

Speicher	10 MW / 20 MWh, Standalone, 280 Euro je kWh, 2 Prozent Betriebskosten, maximal 730 Vollzyklen im Jahr, Netzentgeltbefreiung
Märkte	Day-Ahead, Intraday-Auktion, Intraday kontinuierlich, FCR, aFRR positiv und negativ in 4-Stunden-Blöcken
Preise	Preisjahr 2025, ENTSO-E Transparency Platform und regelleistung.net
Einspeisegrenze	Je Viertelstunde 2025 aus der inframind-Netzsimulation, für Nordfriesland und Niederbayern
Optimierung	Einsatzoptimierung über 35.040 Viertelstunden, Grenze als Randbedingung, fünf Verträge
Wirtschaftlichkeit	Kapitalwert über 20 Jahre, 8 Prozent Zinssatz, konstante Erlöse, Restwert nach 20 von 30 Jahren

Einordnung und Grenzen

- **Perfekte Voraussicht.** Der Optimierer kennt Preise und Grenze für das ganze Jahr. Reale Handelsergebnisse liegen typischerweise 10 bis 20 Prozent unter dem Optimum, für alle Verträge gleichermaßen.
- **Rampe als Untergrenze.** Die Rampe ist im Modell je Richtung gesetzt. Die Rampenverluste sind deshalb eher zu niedrig als zu hoch.
- **Anteilige aFRR-Teilnahme** ist ein Überschlag aus anteiligem Regelleistungserlös und reduzierter Arbitrageleistung, kein Optimierungslauf.
- **Einspeisegrenze** aus synthetischen, öffentlich datenbasierten Netzmodellen. Eine netztechnische Indikation, keine Zusage des Netzbetreibers.
- **Nicht gerechnet:** starre Zeitfenster und Hüllkurven, Bezugsgrenzen, eine Sättigung der Regelleistungsmärkte, Preispfade nach 2025, die Umwandlung in einen festen Anschluss.
- **Generischer Speicher.** Die Ergebnisse zeigen Rangfolge und Größenordnung der Klauseln. Sie ersetzen keine Netzverträglichkeits- oder Vertragsprüfung.

LK

Dr.-Ing. Leander König-Kotzur
Geschäftsführer Produkt,
minimum energy

Modellierung der fünf Verträge, Erlösrechnung.

FK

Dr.-Ing. Felix Kullmann
minimum energy

Methodik der Einsatzoptimierung.

PL

Dr.-Ing. Philipp Lutat
Co-Founder und CEO,
inframind

Netzsimulation, Ableitung der Einspeisegrenzen.

LB

Luis Böttcher
Co-Founder und CTO,
inframind

Netzmodellierung Nordfriesland und Niederbayern.

Herausgeber

minimum energy · Software für techno-ökonomische Planung von Energiesystemen, mathematische Optimierung für Auslegung und Betrieb.

inframind GmbH, Aachen · Netzsimulation für die Bewertung flexibler Netzanschlussvereinbarungen.

Weiterlesen

Netzanschluss-Report Vol. 1: Welche Assets an einem freien Netzanschluss wirtschaftlich tragen. inframind White Paper "Volle Netze, ungenutzte Reserven", August 2026.

Kontakt und Zitierhinweis

leon@minimum.energy · inframind.de
König-Kotzur, L., Kullmann, F., Lutat, P., Böttcher, L. (2026): Der belastbare FCA. Netzanschluss-Report Vol. 2. minimum energy und inframind.

KERNAUSSAGE

Die regelbasierte Grenze kostet unter einem Prozent, die starren Klauseln bis zur Hälfte des Kapitalwerts. Ein FCA ist kein Nachteil, den man hinnimmt, sondern ein Vertrag, den man gestaltet. Regelbasiert, mit Regelleistung, ohne starre Deckel.