



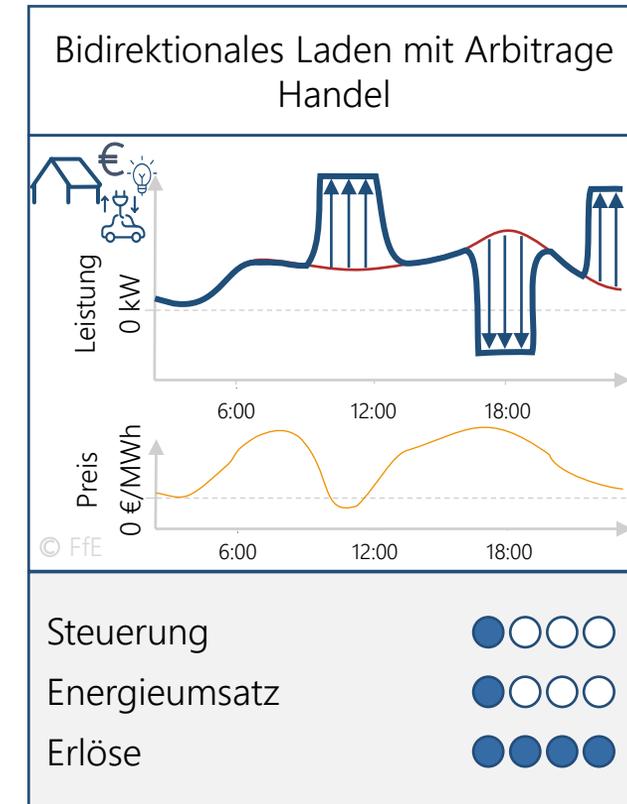
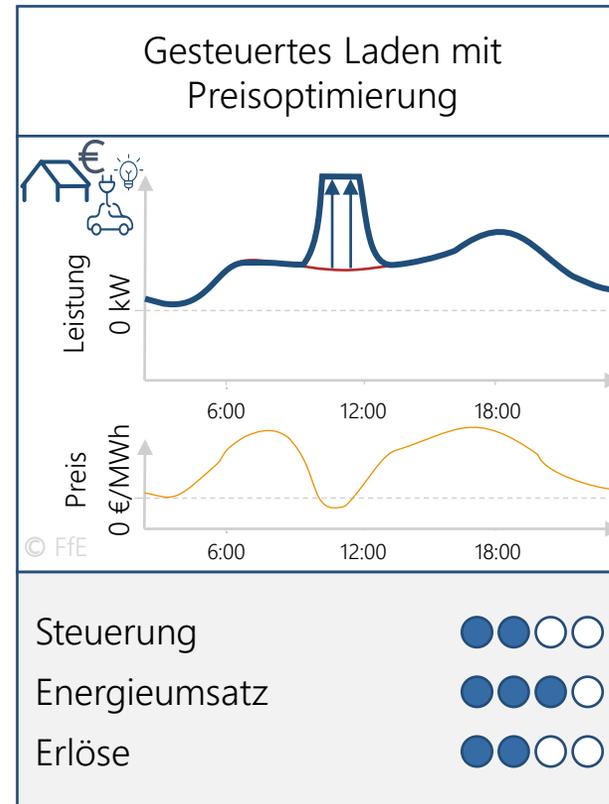
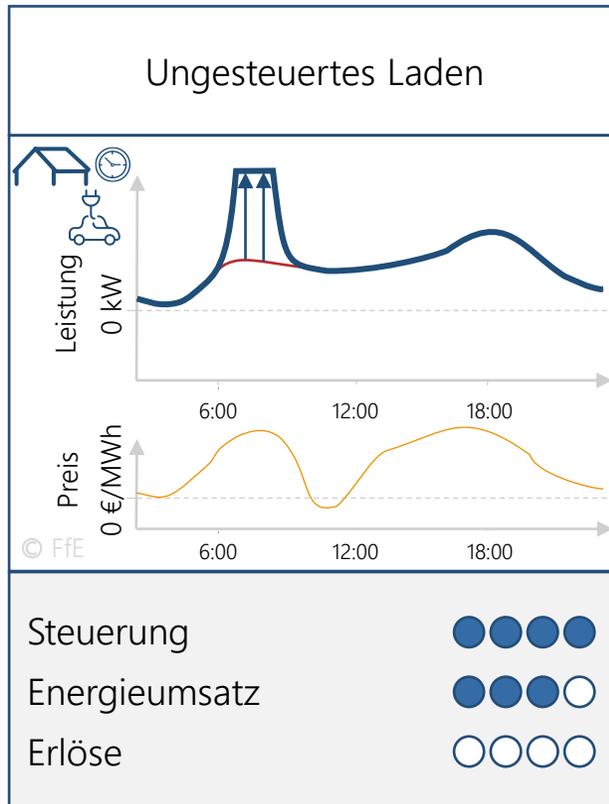
Use Case Intraday Arbitrage Executive Summary

Bidirektionales Lademanagement - BDL

Mehr Infos unter
<https://bdl-auswertungen.de/>

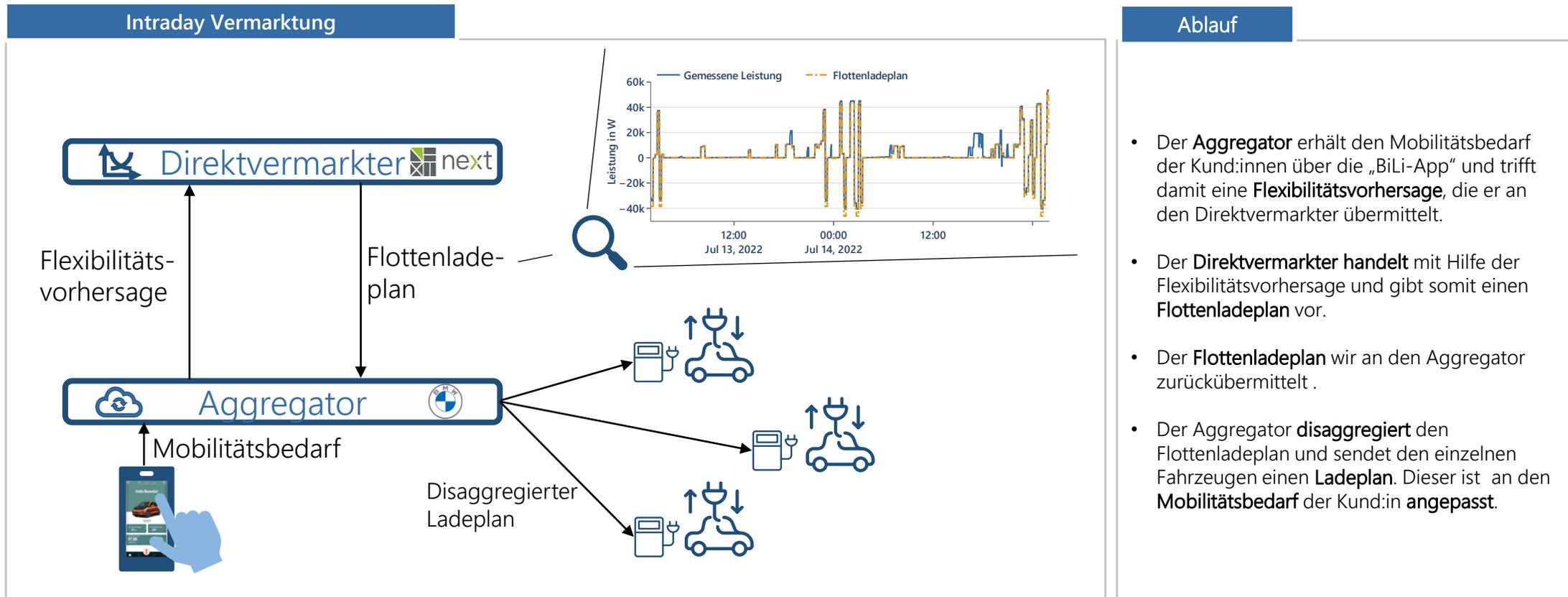
Autoren:
Theodor Haug (thaug@ffe.de)
Adrian Ostermann (aostermann@ffe.de)

Intraday Arbitrage Handel: Vom Referenzfall zum intelligenten, bidirektionalen Laden (BDL)



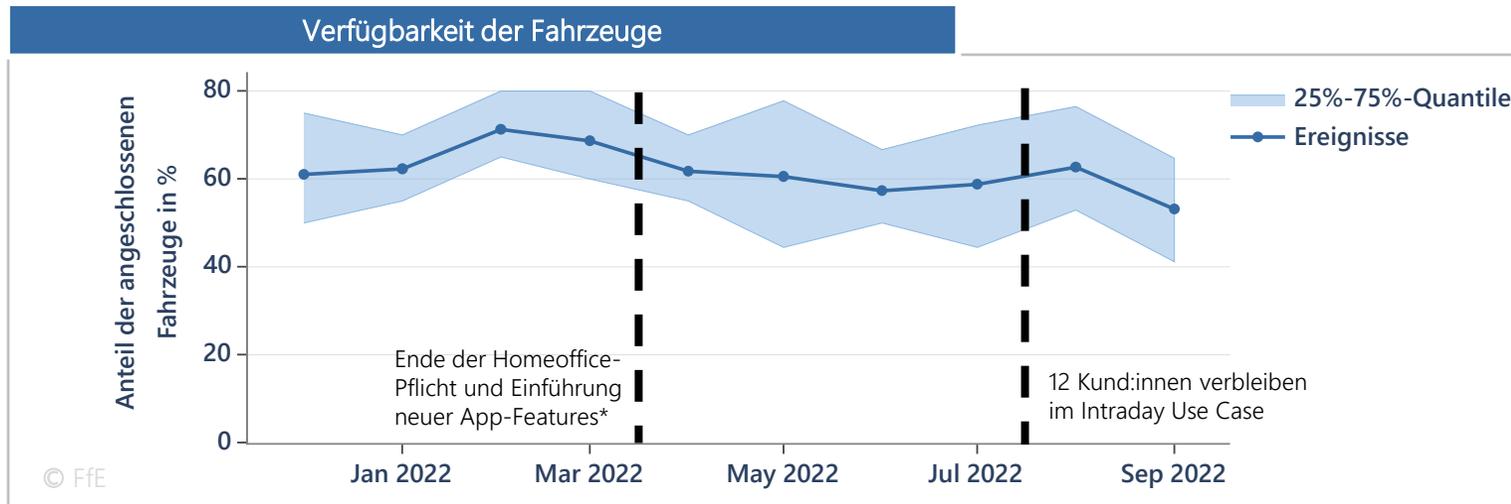
Durch BDL können durch Ausnutzung der Preisunterschiede zwischen Lade- und Entladezeitpunkt Erlöse erzielt werden.

Aufbau des Intraday Use Case im Pilotbetrieb: Ablauf und Aufgabenverteilung



Der Intraday Use Case ist komplex und benötigt die Zusammenarbeit von mehreren neuen und alten Teilnehmenden am Energiemarkt.

Verfügbarkeit der Fahrzeuge: Über die Hälfte der Fahrzeuge sind durchschnittlich angeschlossen



Erkenntnisse

- Die **durchschnittliche Verfügbarkeit** der Intraday Flotte liegt bei **65%**.
- Durch das **Ende der Corona-Maßnahmen** steigt der Mobilitätsbedarf der Kund:innen wieder; dadurch **sinkt die Verfügbarkeit**.
- Neue App-Features* für die Intraday-Kund:innen hatte keinen sichtbaren Einfluss auf die Verfügbarkeit. Andere Faktoren wie die Aufhebung der Homeoffice-Pflicht Ende März 2022 haben hier möglicherweise entgegengewirkt.
- Zwischen **23:00 und 5:00 Uhr** war die **Verfügbarkeit am höchsten**. Tagsüber ist die Verfügbarkeit am Wochenende deutlich höher als werktags. Trotzdem liegt die Verfügbarkeit durchschnittlich **zu allen Tageszeiten** auch werktags **über 45%**.

Ausgangslage

- Die Verfügbarkeit der Fahrzeuge wird durch einen Anschlussstatus übermittelt. Dieser ist leider nicht immer zuverlässig.
- Aufgrund der Corona-Pandemie galt im Winter 2021/22 die Homeoffice Pflicht.
- Ab Anfang Dezember waren 10 Kund:innen im Intraday Use Case ab Anfang Februar 14.

*Ab April 2022 wurden mehrere App-Features für die Intraday-Kund:innen freigeschaltet, die lange Ansteckvorgänge und niedrige Ziel-SoCs mit Punkten belohnen. Außerdem wurde der Abfahrtszeitenplaner erweitert.

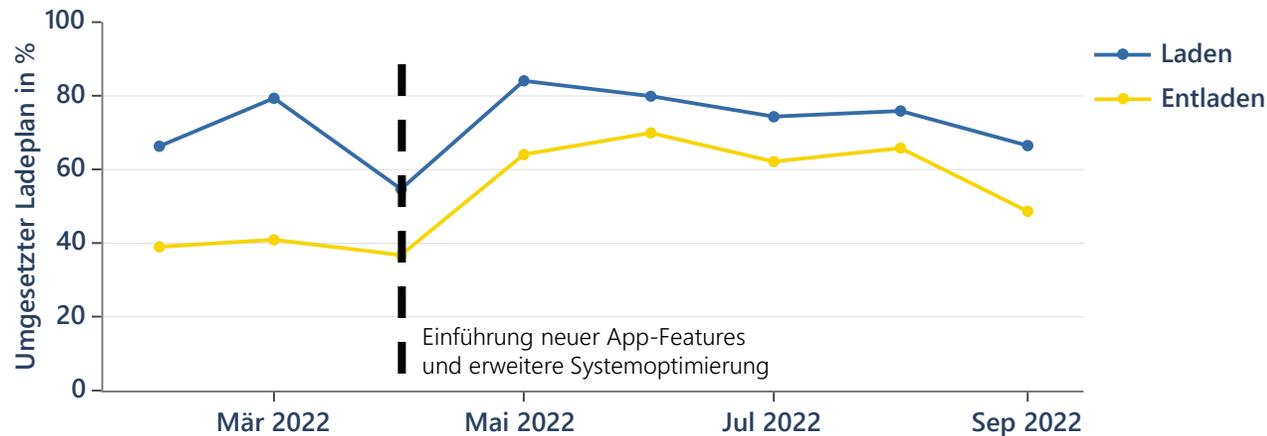


Die Pilotkund:innen im BDL-Projekt haben durch regelmäßiges Anstecken zum Erfolg des Pilotbetriebs beigetragen. Das zeigte sich in einer durchschnittlichen Verfügbarkeit von 65%. Mehrere Berufspendler führten zu einer geringeren Verfügbarkeit nach Ende der Homeoffice-Pflicht.

Umsetzung des Ladeplans: Effektiver Handel benötigt gute Flexibilitätsvorhersagen und geplantes Laden



Umsetzung des Ladeplans



© FFE

Ausgangslage

- Der Vermarkter gibt basierend auf Prognosen einen Ladeplan vor, der von der Flotte umgesetzt werden soll.
- Der Ziel-SoC („State of Charge“ - Ladezustand) wird gemeinsam mit der gewünschten Abfahrtszeit von den Pilotkund:innen über die für das BDL-Projekt entwickelte „BiLi-App“ eingestellt. Er darf nach der Abfahrtszeit nicht unterschritten werden und führte dadurch häufig zu einer verringerten Flexibilität.
- Zu Beginn ist die Umsetzung des Ladeplans noch niedrig. Insbesondere die vorgegebenen Entlade-Leistungen konnten nicht umgesetzt werden, weil zuvor kein Laden eingeplant wurde und die Wirkungsgradverluste geringer eingeschätzt wurden.

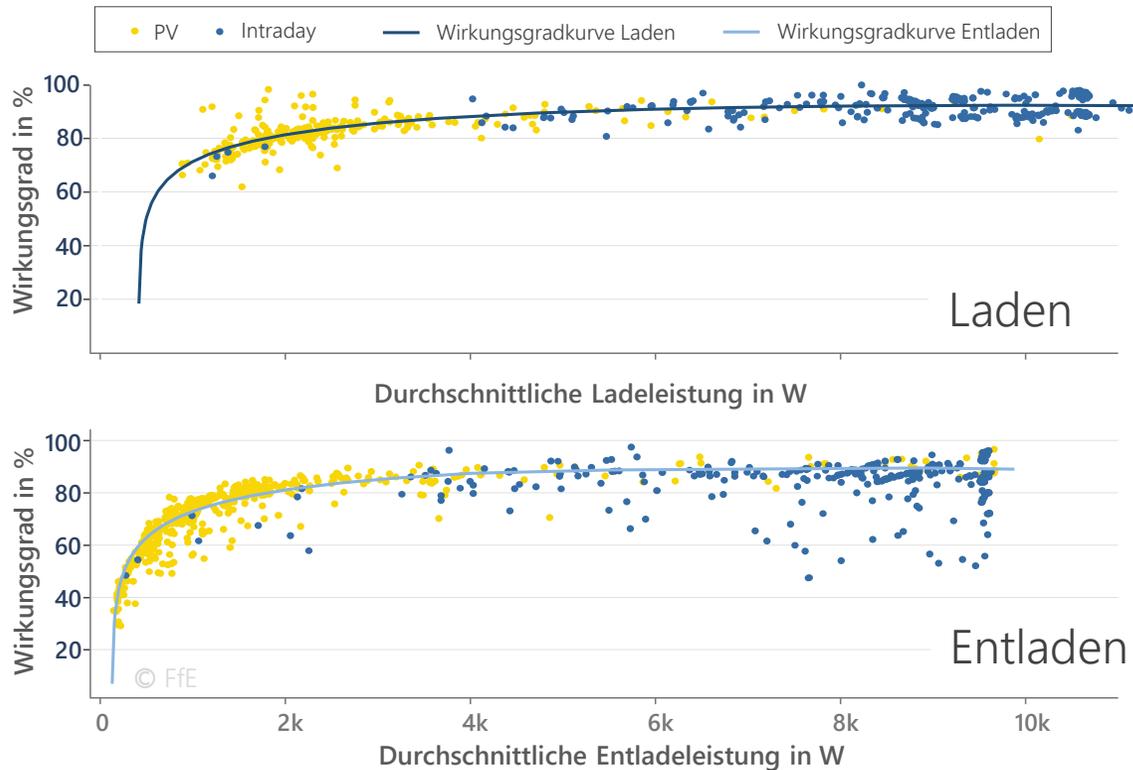
Erkenntnisse

- Durch einen **höheren Ladeanteil** konnte ab Mai die **Umsetzung der Entlade-Leistungen deutlich erhöht** werden.
- Der **Wirkungsgrad** muss bei der Erstellung des Ladeplans **berücksichtigt** werden, damit die vorgegebenen Leistungen umgesetzt werden können und die Preisunterschiede groß genug sind, um Erlöse zu erzielen.
- Die Umsetzung des Ladeplans hängt von der **Flexibilitätsvorhersage** ab; diese wird deutlich besser bei größeren Flotten. Somit kann in der Serie mit einem **stark erhöhten Umsetzungsgrad** gerechnet werden.
- Um den Kund:innen eine **genauere Angabe des Ziel-SoCs** zu ermöglichen, wurde die App erweitert: **Wochengang des Ziel-SoCs** und der **Abfahrtszeit** sowie ein **Urlaubsmodus** wurden eingeführt. Hierdurch konnte womöglich die **Flexibilitätsvorhersage** und somit auch die Umsetzung des Ladeplans verbessert werden.



Im Laufe des Pilotbetriebs konnte durch eine optimierte Flexibilitätsvorhersage sowie eine angepasste Ladeplanung der Flotte der Umsetzungsgrad des Ladeplans deutlich gesteigert werden. Zusätzlich konnte mit Hilfe eines neuen App-Features die zur Verfügung stehende Flexibilität der Flotte erhöht werden.

Roundtrip Wirkungsgrad: Hohe Leistungen ermöglichen ein effizientes Gesamtsystem



Erkenntnisse

- Der **Gesamtwirkungsgrad** η_{ges} setzt sich zusammen aus den Verlusten beim Lade- und Entladevorgang sowie konstanten Verlusten innerhalb des Fahrzeugs.
- Der **Gesamtwirkungsgrad** des Systems ist stark von der Lade- und Entladeleistung abhängig, da die Komponenten im unteren Leistungsbereich technisch bedingt eine **höhere Verlustleistung** aufweisen.
- Im Intraday Use Case konnte der **Wirkungsgrad deutlich erhöht** werden, indem das Laden und Entladen bei niedrigen Leistungen ausgeschlossen wurde.
- Durch technische Verbesserungen kann man für den Wirkungsgrad in **Serie wesentlich bessere Werte** erwarten.

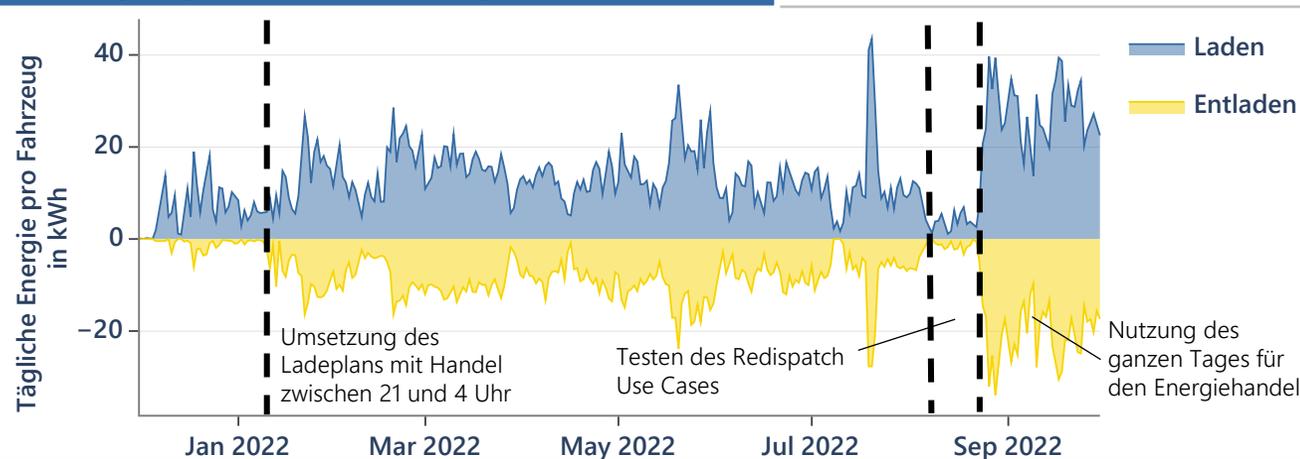
81 %

durchschnittlicher **Roundtrip-Wirkungsgrad** η_{ges} für den Intraday Use Case über die Dauer des Feldversuchs, damit ist er **vergleichbar mit dem eines Pumpspeicherkraftwerks** welches ähnlich wie die Fahrzeugflotte als Energiespeicher dient.

Lade- und Entlademengen: Erhöhter Energiefluss durch den Intraday Use Case



Täglich ge- und entladene Energie



Ausgangslage

- Im Dezember und Januar wird täglich noch wenig Energie ge- und entladen, ab Mitte Januar wird dann der Ladeplan umgesetzt und nach Verbesserungen der Steuerungen ist die Intraday Flotte ab März im Regelbetrieb.
- Vor September wird nur ein Zeitfenster zwischen 21:00 und 4:00 Uhr genutzt, um Energie zu handeln.

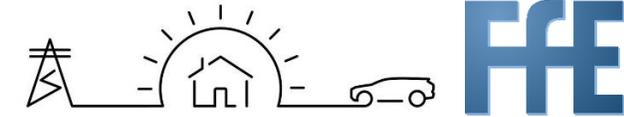
Erkenntnisse

- Im Intraday Use Case lädt ein Fahrzeug durchschnittlich **16kWh pro Tag** und entlädt **9kWh**.
- Die zusätzlich ge- und entladene Energie führt pro Fahrzeug und Jahr zu **86 zusätzlichen Vollzyklen** und einer **zusätzliche Betriebsdauer von 1260 h**. Das entspricht ungefähr **17.900 km zusätzlicher Fahrleistung**.
- Die zusätzliche Belastung für die Batterie findet bei einem **mittleren SoC von 63 %** statt.. Hier trägt der Betrieb der Batterie **weniger zur Alterung** bei als bei sehr hohen oder niedrigen SoCs.

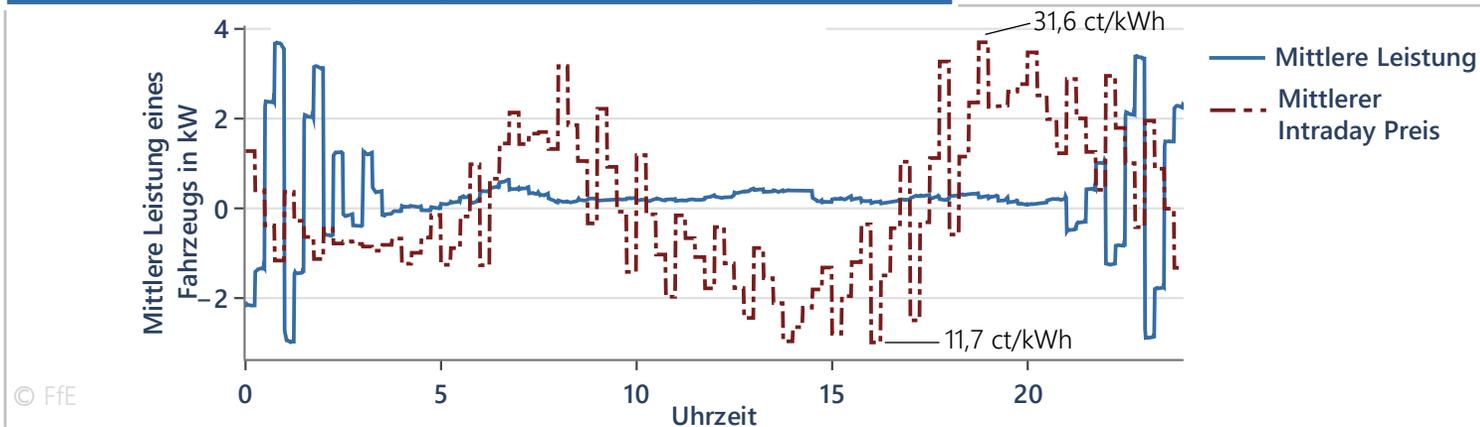


Im Laufe des Pilotbetriebs haben sich die Lade- und Entlademengen aufgrund der optimierten Ladepläne deutlich erhöht. Die Anpassungen des Handelsfensters führten zu einer weiteren Erhöhung der gehandelten Energiemengen.

Ein typischer Tag: Potential für größere Preisunterschiede durch die Nutzung des ganzen Tages



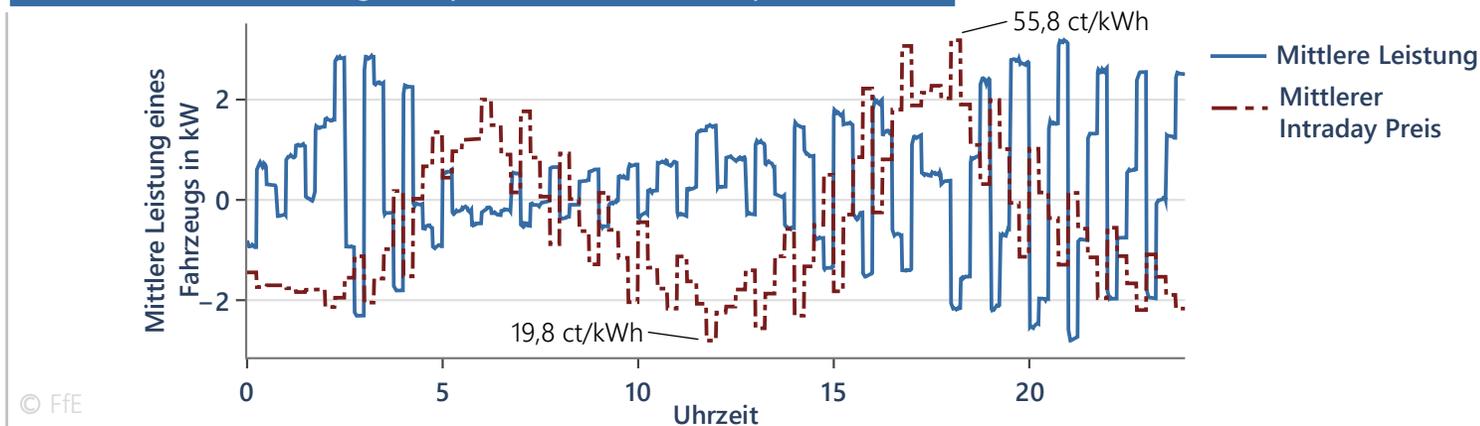
Durchschnittsleistung und -preis nach Uhrzeit vor September



Erkenntnisse

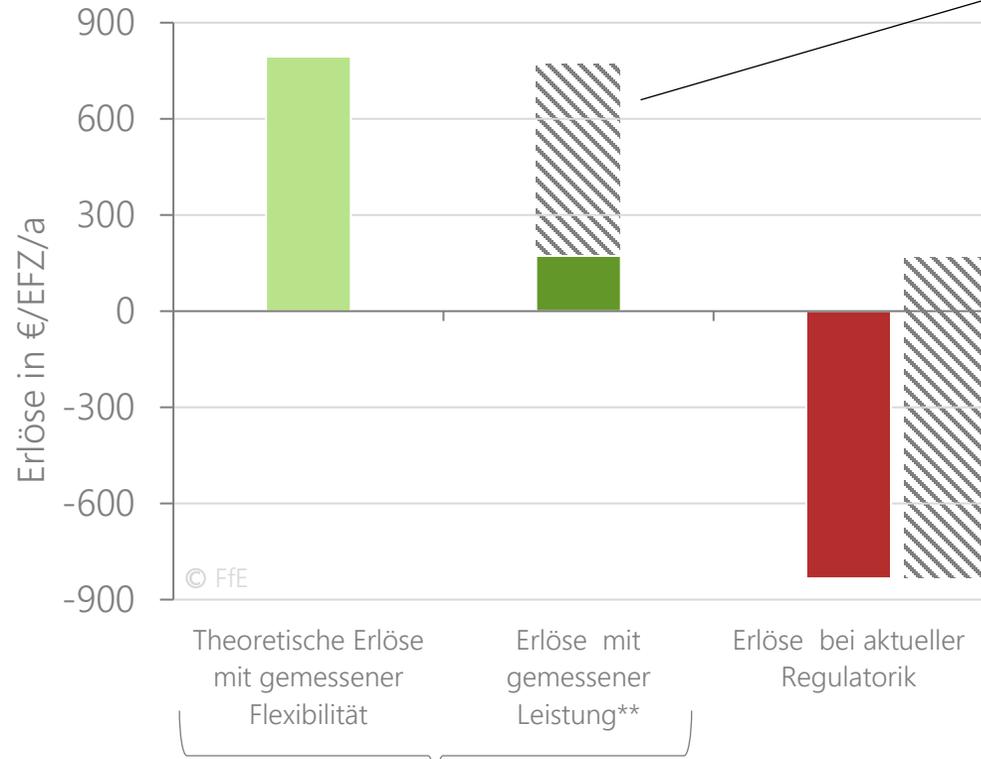
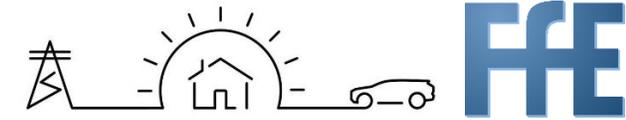
- Vor September wird nur ein **Zeitfenster** zwischen 21:00 und 4:00 Uhr genutzt, um Energie zu handeln. Deshalb konnten nur die stündlichen Preisunterschiede genutzt werden.
- Die **größten Preisunterschiede** haben allerdings einen **größeren zeitlichen Abstand** und können deshalb nicht ausgenutzt werden.
- Durch die Nutzung des ganzen Tages im September erhöhen sich die **zusätzlichen Vollzyklen** pro Fahrzeug und Jahr auf **188** und die **zusätzliche Betriebsdauer** auf **1890 h**. Das entspricht ungefähr **39.400 km zusätzlicher Fahrleistung**.
- Trotz der Nutzung des ganzen Tages wurden die größten Preisunterschiede nicht ausgenutzt, da in kurzen Abständen ge- und entladen wurde. Hier bleiben **große Potentiale**, um selbst bei **geringerer Belastung** für das Fahrzeug **größere Erlöse** zu erzielen.

Durchschnittsleistung und -preis nach Uhrzeit im September



Durch die Nutzung von stündlichen Preisunterschieden konnten Erlöse erzielt werden. Die Ausnutzung größerer Preisunterschiede durch eine optimierte Ladestrategie bietet das Potential für größere Erlöse bei geringeren Belastungen für das Fahrzeug.

Zeitliche Arbitrage am Intraday-Markt: Erlöspotentiale und Erlöse im Projektverlauf

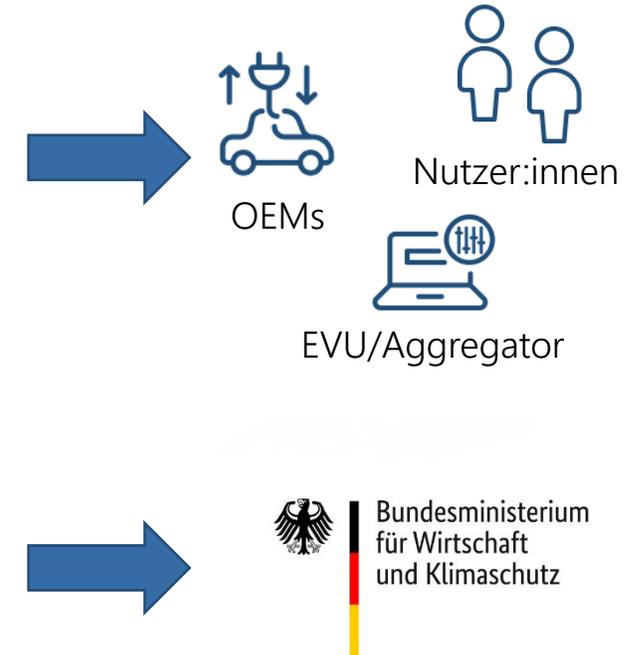


Vernachlässigung von Steuern, Abgaben, Umlagen und Netzentgelten

Abweichungen:

- Berücksichtigung des Wirkungsgrads für den Handel
- Ausnutzung der großen Preisunterschiede
- Flexibilitätsvorhersage

Deutlich negative Erlöse aufgrund von Steuern, Abgaben, Umlagen und Netzentgelten (ca. 150 €/MWh * 6,7 MWh)



* Die gemessene Flexibilität wird genutzt, um theoretisch Energie zu handeln und dabei trotz Wirkungsgradverlusten Erlöse zu erzielen

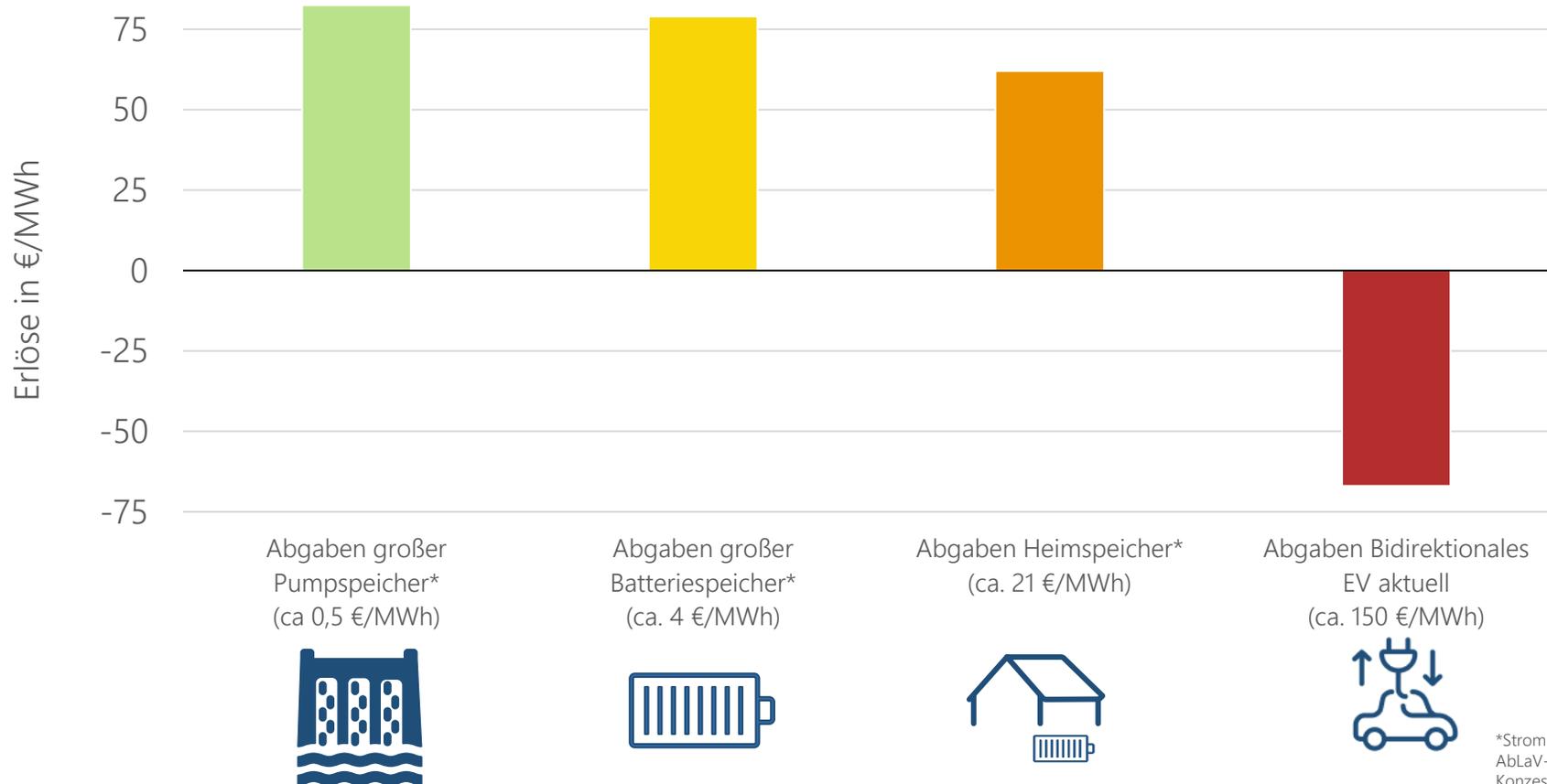
** Die real gemessenen Leistungen der Flotte werden genutzt, um die Erlöse zu berechnen

Pilotkunden Daten für September 2022
Theoretische Erlöse für September 2022
Annahme: Spiegelung auf ganzes Jahres



Erst weitere Möglichkeiten der Befreiung bidirektionaler EVs von Steuern, Abgaben, Umlagen und Netzentgelten machen den Use Case wirtschaftlich!

Einfluss der Regulatorik auf die Erlöse des Intraday Use Cases



Durch den Handel im September werden im Intraday Use Case 83 €/MWh erwirtschaftet.

*StromNEV- (abhängig von durchgesetzter Energie) und AbLaV-Umlage: <https://www.netztransparenz.de/EnWG>
Konzessionsabgabe: https://www.bdew.de/media/documents/BDEW-Strompreisanalyse_no_halfjaehrlich_Ba_online_10062021.pdf



Gleichstellung mit großen Speicherkraftwerken als Grundvoraussetzung für Wirtschaftlichkeit.

Die wichtigsten Erkenntnisse des Intraday Use Cases: Wann ist der Intraday Use Case ein Erfolg?



* Unter der Projektion der Erlöse im
September auf das ganze Jahr
** 20 kWh / 100 km



an jährlichen Erlösen
konnten die Kunden
durchschnittlich im
Intraday Use Case
erzielen.*



Gute Flexibilitätsvorhersagen und Ladeplanung sind wichtig, um die Flotte optimal auszunutzen. Im Pilotbetrieb waren nur 13 Fahrzeuge. Bei Flotten von 100 oder 1.000 Fahrzeugen werden Flexibilitätsvorhersagen deutlich zuverlässiger.



Wirkungsgradverluste müssen für den Energiehandel berücksichtigt werden, da sonst zu geringe Preisunterschiede zu Verlusten anstatt zu Erlösen führen.



Hohe Flexibilitäten durch eine hohe Verfügbarkeit und einen niedrigen Ziel-SoC erlauben effektiven Handel mit hohen Preisunterschieden.



Der Use Case verursacht durch bidirektionales Laden eine zusätzliche Energiebelastung, die ca. 39.400 km** zusätzlicher Fahrleistung pro Jahr entspricht.

Durch mehrere technische Verbesserungen und angepasste Regulatorik können für den Serienbetrieb Erlöse über 800 € im Jahr erwartet werden.