



# **MACHBARKEITSSTUDIE**

**Einsatz klimaneutraler Busse bei Mückenhausen**

**Ergebnisdokumentation, 27.11.2024**

# Inhalt

1. Ausgangslage
  - 1.1. Politische Vorgaben
  - 1.2. Zielsetzung
  - 1.3. Markt- und Technologiebeschreibung
2. Umlaufanalyse
  - 2.1. Bestandsaufnahme
  - 2.2. Methodik
  - 2.3. Ergebnisse
3. Standortkonzepte
  - 3.1. Vorgehensweise
  - 3.2. Optimierung
  - 3.3. Dimensionierung
  - 3.4. Beispielkonzepte
4. Gesamtkostenbetrachtung
5. Grünstromnutzung (PPAs / Bilanzkreismanagement)
6. Fazit und Handlungsempfehlung



# Machbarkeitsstudie

## Impressum

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Die Erstellung der Studie wird im Rahmen der „Richtlinie zur Förderung alternativer Antriebe von Bussen im Personenverkehr“ durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) gefördert. Fördermittel dieser Maßnahme werden auch im Rahmen des Deutschen Aufbau- und Resilienzplans (DARP) über die europäischen Aufbau- und Resilienzfazilitäten (ARF) im Programm NextGenerationEU bereitgestellt. Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PtJ) umgesetzt.

# Machbarkeitsstudie

## Impressum

### FÖRDERMITTELGEBER

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### PROJEKTTRÄGER



Projektträger Jülich  
Forschungszentrum  
Jülich GmbH  
Wilhelm-Johnen-Straße,  
52425 Jülich

### AUFTRAGGEBER



Mückenhäuser  
Busunternehmen GmbH  
Industriesiedlung 6,  
84140 Gangkofen

### AUFTRAGNEHMER



Hanna Full  
Jan Lukas Hillendahl  
Dag Rüdiger  
Katharina Sailer

# 1. AUSGANGSLAGE



The image depicts a professional setting with a person in a dark suit. The person's left hand is positioned on a laptop keyboard, while their right hand holds a white pen over a tablet. The tablet displays a complex data visualization with several downward-pointing triangles and a line graph. The background is filled with a semi-transparent digital interface. This interface includes a top navigation bar with the text 'Technology Innovation SYSTEM' and icons for a power button, mail, and other functions. Below this, there are several data charts: a line graph with multiple data series, a bar chart, and a smaller line graph. The overall aesthetic is clean, modern, and tech-oriented, with a color palette dominated by blues, greys, and whites, accented with yellow for the main title.

# 1. Ausgangslage

## 1.1. Politische Vorgaben

### VORGABEN IM VERKEHRSEKTOR

- 20 % der Treibhausgasemissionen entfallen auf den Verkehrssektor
- Ziel: Halbierung der THG-Emissionen von 1990 - 2030
- EU-Richtlinie „Clean Vehicles Directive“
- Umsetzung durch das Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetz
  - 45 % der Bus-Neuanschaffungen bis zum 31.12.2025 müssen emissionsfrei sein
  - 65 % der Bus-Neuanschaffungen bis 2030 müssen emissionsfrei sein
- Es kommen hohe finanzielle und zeitliche Aufwände für die Integration der neuen Technologien auf Mückenhausen zu

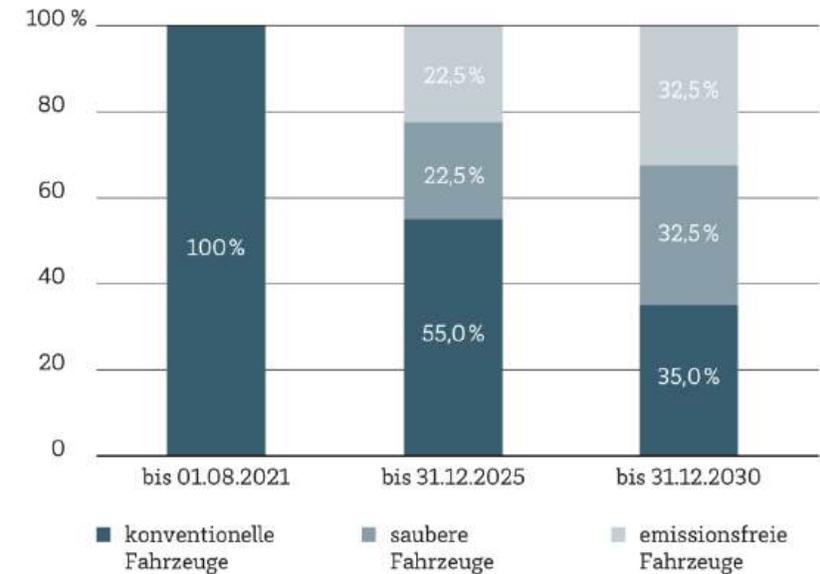


# 1. Ausgangslage

## 1.1. Politische Vorgaben

### CLEAN VEHICLE DIRECTIVE (CVD)

- Als „emissionsfrei“ gelten Batterie- oder Brennstoffzellen-Busse
- Als „sauber“ gelten alle Busse betrieben mit:
  - Bio-Kraftstoffen (Raps- bzw- Zuckerrohröl),
  - synthetischen Kraftstoffen (HVO100\* oder C.A.R.E)
  - Gas (CNG, LNG, LPG)
  - sowie Plug-in-Hybrid-Busse
- Bis 31.12.2025 müssen:
  - 22,5% aller beschafften Busse „sauber“ sein
  - 22,5% aller beschafften Busse „emissionsfrei“ sein
- Bis 31.12.2030 müssen es jeweils 32,5% sein



[1] CVD-Quoten in den Referenzzeiträumen. Quelle: VDV 2022

# 1. Ausgangslage

## 1.2. Zielsetzung

### ZIELSETZUNG DES PROJEKTES

- Mückenhausen hat bereits eine Vielzahl an Dach und Freiflächen-PV-Anlagen im Bestand und weitere in Planung. Weiterhin wurde während der Projektlaufzeit ein **eigenes Umspannwerk und eigenes Mittelspannungsnetz** in Betrieb genommen.
- Die Busflotte mit ca. **255 Fahrzeugen an mehreren Betriebshöfen** muss in den nächsten Jahren auf alternative Antriebe umgestellt werden
- Die Machbarkeitsstudie soll als Handlungsempfehlung für eine **sinnvolle Umstellung** dienen (**batterieelektrische E-Busse vs. Brennstoffzelle**)
- Weiterhin sollen Handlungsempfehlungen zum Aufbau für **Lade- bzw. Tankinfrastruktur** ausgesprochen werden.
- Das Konzept soll aufzeigen, inwiefern die **selbst erzeugte erneuerbare Energie** für die **eigenen Verbraucher** genutzt werden kann



# 1. Ausgangslage

## 1.3. Markt- und Technologiebeschreibung

### LADEINFRASTRUKTUR

	Batterie-Bus	Brennstoffzellen-Bus
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Hohe Effizienz (Wirkungsgrad 69%)</li> <li>+ Aufbau von Infrastruktur auf eigenem Grundstück relativ einfach möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Hohe Reichweiten und kürzere Tankdauern</li> <li>+ Flexiblere Streckenplanung möglich</li> <li>+ Bei großer Flotte können sich Infrastrukturvorteile ergeben</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Höhere Ladedauern</li> <li>- Geringere Reichweiten</li> <li>- weniger Flexibilität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufbau eigener Wasserstoffinfrastruktur komplex und für kleinere Flotten zu teuer</li> <li>- Niedrige Effizienz (Wirkungsgrad 26%) -&gt; Strom zu Wasserstoff zu Strom*</li> </ul>
Folge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geeignet für kürzere, planbare Fahrten (z.B. ÖPNV, Werksverkehr)</li> <li>- Ggf. Teilung von Linien / Zusatzfahrzeuge / Zwischenladen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geeignet für lange, unplanbare Fahrten (z.B. Reiseverkehr)</li> <li>- Ggf. Nutzung öffentlicher Tankstellen sinnvoll, oder Aufbau von Tankstellen gemeinsam mit anderen Busunternehmen</li> </ul>

# 1. Ausgangslage

## 1.3. Markt- und Technologiebeschreibung

### LADEINFRASTRUKTUR

	Depotlader-Bus	Gelegenheitslader-Bus
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eine Batterieladung pro Einsatztag und Bus</li> <li>– Nachladen außerhalb der Betriebszeiten</li> <li>– Plug-in Systeme (CCS-Ladestecker) bis 150 kW</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Nachladung innerhalb der Betriebszeit</li> <li>– Docking-Systeme (Pantograph) bis 600 kW</li> </ul>
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Hohe Lebensdauer durch batterieschonendes, langsames Laden</li> <li>+ I.d.R. umsetzbar als verfahrensfreies Bauvorhaben (geringerer Aufwand, da eigene Grundstücke)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Elektrifizierung langer Umlaufstrecken durch schnelles Laden</li> <li>+ Geringe Speicherkapazität reduziert Fahrzeuggewicht und reduziert Anschaffungskosten</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Elektrifizierung längerer Umläufe möglich aufgrund der begrenzten Reichweite</li> <li>- Für Ladungen sind lange Pausenzeiten notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hohe Ladeleistungen beanspruchen die Batterien und verkürzen die Lebensdauer</li> <li>- Ladestandorte auf öffentlichen Grundstücken erhöhen den Genehmigungsaufwand</li> </ul>

#### Technischer Hinweis

Der Trend geht hin zum Depotlader, da dieser einfacher in der Umsetzung ist und höhere Reichweiten hat.

# 1. Ausgangslage

## 1.3. Markt- und Technologiebeschreibung

### LADEINFRASTRUKTUR

Zentrale Ladesysteme	Dezentrale Ladesysteme
<p><b>Beschreibung</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Leistungseinheit ist in der Ladesäule verbaut (zentral)</li><li>• Bei zentralen Ladesystemen in der Halle kann Stromschiene zusätzliche Vorteile bringen (flexibleres Nachrüsten + geringere Brandlast)</li></ul> <p><b>Vorteil</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• einfache Systemaufbau und ein deutlich geringerer Installationsaufwand</li><li>• Geringere Installationskosten</li></ul> <p><b>Nachteil</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Höherer Platzbedarf</li><li>• Geringere Ladeflexibilität</li></ul>	<p><b>Beschreibung</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Leistungseinheit wird abgesetzt (dezentral) von der eigentlichen Ladesäule (dem Satelliten) aufgebaut</li><li>• Ladepunkt kann mit einer kompakten Ladebox*/Satelliten realisiert werden</li></ul> <p><b>Vorteil</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Platzbedarf in unmittelbarer Nähe zum Fahrzeug kann begrenzt werden -&gt; häufig von Vorteil in Hallen</li><li>• Deckenmontage meist möglich</li><li>• Stark dynamische Leistungsverteilung -&gt; hohe Ladeleistungen möglich</li></ul> <p><b>Nachteil</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Leistungseinheit sollte nicht zu weit vom Ladepunkt entfernt stehen (max. 100 m)</li><li>• Höhere Kosten aufgrund Installationsaufwand</li></ul>

\*H x B x T = ca. (170 x 700 x 240) mm

# 1. Ausgangslage

## 1.3. Markt- und Technologiebeschreibung

### BEISPIEL ZENTRALE LADESYSTEME

- Im **Depot** reicht **DC-Ladeinfrastruktur** in für das Übernachten i.d.R. aus
- Für den **Notfall** sollten einige **HPC-Lader** (High-Power-Charger) installiert werden
- Auf der Strecke empfehlen sich **HPC-Lader > 300 kW** oder Pantografen

Beispiel: Ladebedarf = 360 kWh bzw. 300 Kilometer



[2] Alpitronic Hypercharger HYC50 Wallbox. GP JOULE CONNECT.

#### DC-Lader

- Ladeleistung: 50 kW
- Notwendige Ladezeit: 7,2 h
- Kosten: ca. 10.000 € - 30.000 €



[3] Alpitronic Hypercharger HYC400-2 DC-Ladestation. GP JOULE CONNECT.

#### HPC-Lader

- Ladeleistung: 150 kW
- Notwendige Ladezeit: 2,4 h
- Kosten: ca. 60.000 € - 90.000 €



[4] Pantograf. Quelle: New.ABB.

#### Pantograf

- Ladeleistung: 600 kW
- Notwendige Ladezeit: 36 min\*
- Kosten: ca. 350.000 € - 450.000 €

# 1. Ausgangslage

## 1.3. Markt- und Technologiebeschreibung

### BEISPIEL DEZENTRALE SYSTEME

- **Power Unit Schränke** wandeln Wechselstrom in Gleichstrom für die Batterie um
- DC-Ladeleistung wird an Ladesäulen oder Steuereinheiten bis zu **50 Meter entfernt** übertragen
- Dezentrale Systeme bieten **Flexibilität** für die Topologie am Standort und ermöglichen **höhere Leistungsniveaus** durch die Anpassung der Schrankanzahl



[5] Power Unit (Kempower.de)



[6] Kempower Satellit (Kempower.de)



[7] Kempower Depotbox (Kempower.de)

### Power Unit

- Kempower Power Unit
- Modular erweiterbar auf bis zu 600 kW in 50 kW Schritten
- 1-8 Satelliten je Power Unit
- Ca. 100.000 € pro 300 kW Unit

### Satellit

- Kempower Satellit
- Bis zu 240 kW je Ladepunkt
- 2 Ladepunkte möglich
- Kreditkartenterminal
- platzsparend
- Mess- & eichrechtskonform
- Ca. 10.000 €

### Depotbox

- Kempower Depotbox
- Bis zu 160 kW je Ladepunkt
- Decken- oder Wandanbringung
- platzsparend
- Ca. 5.000 €

# 1. Ausgangslage

## 1.3. Markt- und Technologiebeschreibung

### EIGENSCHAFTEN VON ELEKTROLYSE-TECHNOLOGIEN ZUR HERSTELLUNG VON WASSERSTOFF

	Alkalisch (AEL)	Proton-Exchange-Membrane (PEM)	Solid-Oxid (SOEC)	Anion Exchange Membrane (AEM)
Druck	1-30 bar	1-76 bar	< 15 bar	1-35 bar
H <sub>2</sub> -Reinheit	> 99,5%	> 99,9%	> 99,9%	> 99,9%
Wartungskosten	2-4 % Investition	2-4 % Investition	2-4 % Investition	n/a
Lebensdauer	60.000-100.000 h	50.000-80.000 h	< 20.000 h	>30.000 h
Wirkungsgrad (unt. Heizwert)	60-70%	65-80%	75-85%	>60%
Elektrolyt	Kaliumhydroxid-Lösung	Befeuchtete Kunststoffmemb.	Keramik	Kunststoffmemb. mit 1%-KOH
Temperatur	70-90 °C	50-80 °C	700-1000 °C	50-60 °C
Ansprechzeit	Sekunden	Millisekunden	bei hohem T dynamisch	n/a
Spezifische Investitionskosten	850 €/kW	1.000 €/kW	1.150 €/kW	3.750 €/kW
Größte Anlagen	< 150 MW	< 25 MW	< 10 MW	1 MW
Technological Readiness Level	9	8	7	8

#### Hinweis

Aktuell vor allem AEL und PEM-Elektrolyse im Fokus.



## 2. UMLAUFANALYSE

# 2. Umlaufanalyse

## 2.1. Bestandsaufnahme

### ERZEUGUNG UND VERBRAUCH ÜBER ALLE STANDORTE HINWEG

#### Erzeugung aus PV (alle Standorte kumuliert)

##### PV an öffentlichem Netz



Bestand	In Planung	Gesamt
11,9 MWp	17 MWp	28,9 MWp

##### Eigenes Netz

Bestand	In Planung	Gesamt
51,8 MWp	45 MWp	96,8 MWp

##### Gesamt

125,7 MWp

132.164 MWh p.a.

#### Verbrauch (alle Standorte kumuliert)

##### Verbrauch bisher



119 MWh

##### Verbrauch mit LIS (100 % Elektrifiz.)



10.000 MWh (grobe Schätzung\*)

10.119 MWh p.a.

Selbst wenn der gesamte heutige + zukünftige Verbrauch (10.119 MWh) durch eigene erneuerbare Energie gedeckt werden würde, hätte Mückenhausen noch **einen großen Überschuss** von ca. 120.000 MWh (132.164 MWh - 10.119 MWh).

# 2. Umlaufanalyse

## 2.2. Methodik

### STANDORTE/LINIEN BESTIMMEN

- Linienauswahl mit mind.
  - 1x bergiges Terrain
  - 1x flaches Terrain
  - 1x Stadt
  - 1x Überland
- Suche der geeigneten Linien anhand der Urbanität, Topografien und Planungsfortschritt der Elektrifizierung



### BERECHNUNG DES VERBRAUCHS

- Anhand realer Linien (Topografie und Durchschnittsgeschwindigkeit)
- Hochrechnung für gesamten Umlauf
- Berechnung für Winter und Sommer
- Worst-Case Szenario als Basis der Planungen

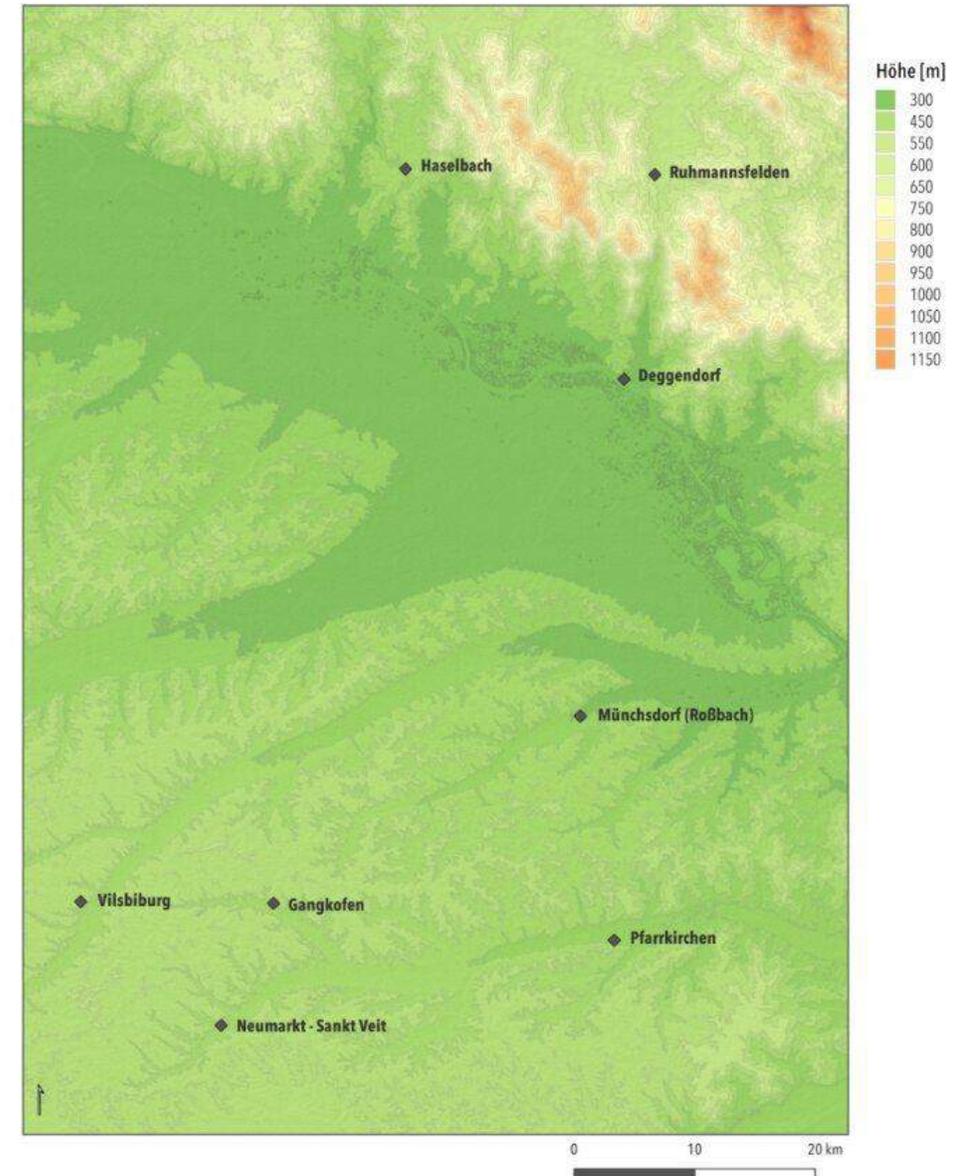
# 2. Umlaufanalyse

## 2.2. Methodik

### DATENLAGE

- Adressen der verschiedenen Betriebshöfe liegen vor
- Die Linien von Mückenhausen werden anhand der online verfügbaren Linienfahrpläne eingelesen
- Es wurden jeweils zwei Linien mit einer flachen Topografie und zwei mit einer bergigen Topografie identifiziert
- Die durchschnittliche Umlauflänge je Bus wird durch den Kunden abgeschätzt

**Höhenlage und Standorte der Betriebshöfe**



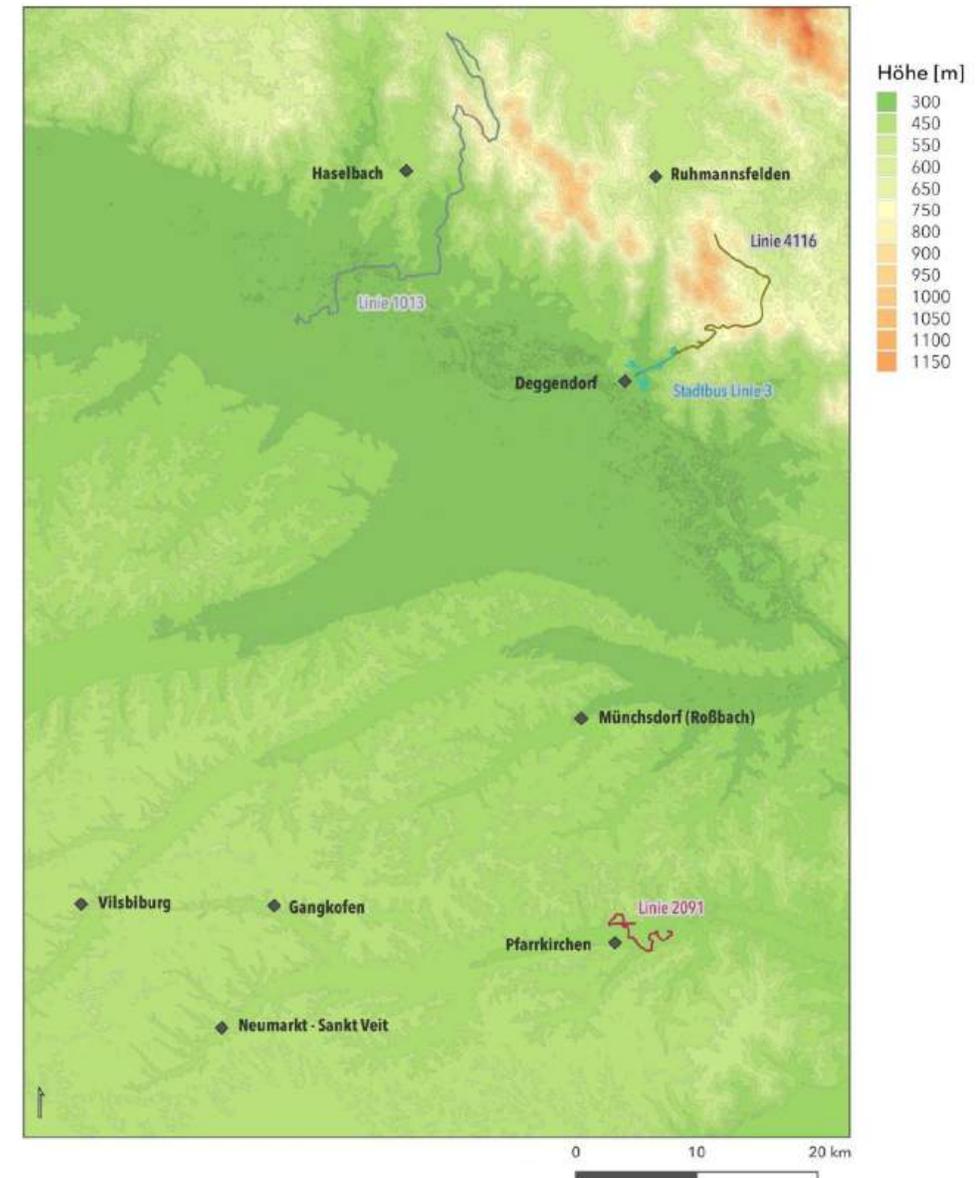
# 2. Umlaufanalyse

## 2.2. Methodik

### ERSTE AUSWAHL DER LINIEN + BETRIEBSHÖFE

- Die zwei bergigsten Linien sind
  - 4116\_Habischried-Kirchberg-Bischofsmais-Deggendorf
  - 1013\_Steinachern-Rattenberg-Steinburg-Bogen-Straubing
- Die zwei flachsten Linien sind
  - Stadtbus Linie 3\_Aletsberg - Stammstrecke - Mietraching und zurück
  - Linie 2091\_Untergrasensee nach Pfarrkirchen
- Finale Auswahl:
  - 4116: bergig und überland
  - L1 Pfarrkirchen: flach und städtisch
  - L3 Deggendorf: bergig und städtisch (mix)

### Busbetriebshöfe und ausgewählte Buslinien



# 2. Umlaufanalyse

## 2.2. Methodik

### BERECHNUNGSRAHMEN/RANDBEDINGUNGEN

- Für die Umlaufanalyse werden 3 Linien betrachtet: Linie 1 Pfarrkirchen, Linie 3 Deggendorf, Linie 4116 Deggendorf
- Fahrzeugauslastung: 12,5% im Tagesdurchschnitt (Durchschnittsgewicht Fahrgast = 75 kg) als realistischer Durchschnitt
- Größe = 12m Bus
- Topografie: Die reale Topografie wurde anhand von manuell erstellten GPX-Daten berücksichtigt.
- Maximale Batteriekapazität (Netto EOL): Nicht beschränkt (ab 400 kWh Markt-Verfügbarkeit prüfen!)

### UNTERSCHIEDUNG KONZEPTE

- Unterscheidung der Antriebe → Zentralantrieb vs. Radnabennaher Antrieb (RNN)
- Unterscheidung Klimatisierung (Heizen/Kühlen)
  - rein elektrisch mit Wärmepumpe (normaler Verbrauch 7 kW, erhöhter Verbrauch unter 0°C von 14 kW)\*
  - Wärmepumpe + nicht elektr. Zusatzheizung (7 kW beim Kühlen, kein elektrischer Verbrauch beim Heizen unter 0 °C)\*

# 2. Umlaufanalyse

## 2.2. Methodik

### ANTRIEBSTECHNOLOGIEN

#### Radnabennaher Antrieb (RNN)

##### Konzept und Funktionsweise

Die Elektromotoren und das Getriebe sind direkt in den Rädern montiert, so dass die Antriebskraft direkt vom Motor auf das jeweilige Rad übertragen wird.

##### Eigenschaften

- Durchschnittlicher Traktionsverbrauch<sup>1</sup> von **1,12 kWh/km**
- Maximaler Antriebswirkungsgrad von **85,1%**
- Effiziente Antriebskraft und verbesserte Traktion durch direkte Kraftübertragung
- Gleichmäßige Verteilung des Drehmoments auf alle Räder – Sehr vorteilhaft beim bergauf Fahren

#### Zentralantrieb

##### Konzept und Funktionsweise

Der Motor und das Getriebe sind in der Mitte des Fahrzeugs angeordnet, um eine effiziente Übertragung der Antriebskraft zu gewährleisten.

##### Eigenschaften

- Durchschnittlicher Traktionsverbrauch<sup>1</sup> von **1,26 kWh/km**
- Maximaler Antriebswirkungsgrad von **79,3%**
- Flexibilität bei der Motorplatzierung – Meistens zentral für eine bessere Gewichtsverteilung
- Energieverlust – Das zentral angebrachte Getriebe, führt zu Reibungsverlusten bei der Energieübertragung

# 2. Umlaufanalyse

## 2.2. Methodik

### EINFLUSSGRÖßEN AUF DEN VERBRAUCH

Der Verbrauch wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst, darunter:

#### Auslastung

- Die Auslastung wurde auf **12,5 %** im Tagesdurchschnitt festgelegt
- Tagesdurchschnittliche Auslastung ist der Mittelwert aller Zeiten mit hoher und niedriger Auslastung
- Die Auslastung bezieht sich auf die maximale Zuladung des Fahrzeugs
- Durchschnittsgewicht Fahrgast von **75kg**

#### Traktionsverbrauch

- Energieverbrauch des Fahrantriebs und der Fahrzeugbewegung
- Beinhaltet den Antriebsstrang und die Reifenreibung
- Es wirkt sich auf die Reichweite und den Wirkungsgrad des Fahrzeugs aus

# 2. Umlaufanalyse

## 2.2. Methodik

### EINFLUSSGRÖßEN AUF DEN VERBRAUCH

Elektrische Nebenverbraucher

- Elektrische Zusatzverbraucher mit einer durchschnittliche Verbrauchsannahme von **1,8 kW**.

(Beleuchtung, Bildschirme, Steuergeräte, Kamera, Radio etc..)

- Elektrische Leistung Klimatisierung mit einem durchschnittlichen Verbrauch von **7kW - 14 kW**.

(Außentemperatur - Heizen / Kühlen)

Eine optimal ausgelegte Wärmepumpe verbraucht für Heizen und Kühlen gleich viel (ca. 7 kW).  
Fahrzeugmodelle im Markt sind jedoch oftmals noch nicht optimal ausgelegt und zeigen einen erheblichen Mehrverbrauch im Winter (bis zu 14 kW)

Der Verbrauch der Klimaanlage und elektrischen Verbraucher ist abhängig von der Betriebszeit

Der Traktionsverbrauch ist abhängig von der zurückgelegten Strecke



Der Einfluss von Klima und Nebenverbrauchern steigt mit zunehmender Fahrzeit pro Strecke

# 2. Umlaufanalyse

## 2.3. Ergebnisse

### KEY TAKEAWAYS

- Auswertung der Umlaufanalyse zeigt: **alle betrachteten Umläufe mit BEV-Bussen machbar**
- BEV-Busse generell gut für die Einsätze im ÖPNV geeignet
- Umläufe ggf. so planen, dass die Fahrzeuge **tagsüber mind. 30 min im Depot schnellladen** können (emissionsarm und kosteneffizient mit eigenem PV-Strom)
- Auch lange Umläufe (>200 km) als lösbare Herausforderung
  - Auf den betrachteten Linien könnten BEV-Busse **ganztägig (12 Std. am Stück)** eingesetzt werden
  - RNN-Antrieb aus Effizienzgründen zu bevorzugen
  - Optimal ausgelegte WP oder nicht-elektrische Zusatzheizung erforderlich
- **Einfluss der Topografie** vorhanden, jedoch folgt i.d.R. nach jeder Steigung auch eine Fahrt bergab, auf der Energie zurückgewonnen wird (**Rekuperation**)



# 3. STANDORTKONZEPTE



# 3. Standortkonzepte

## 3.1. Vorgehensweise

### ZIELSETZUNG

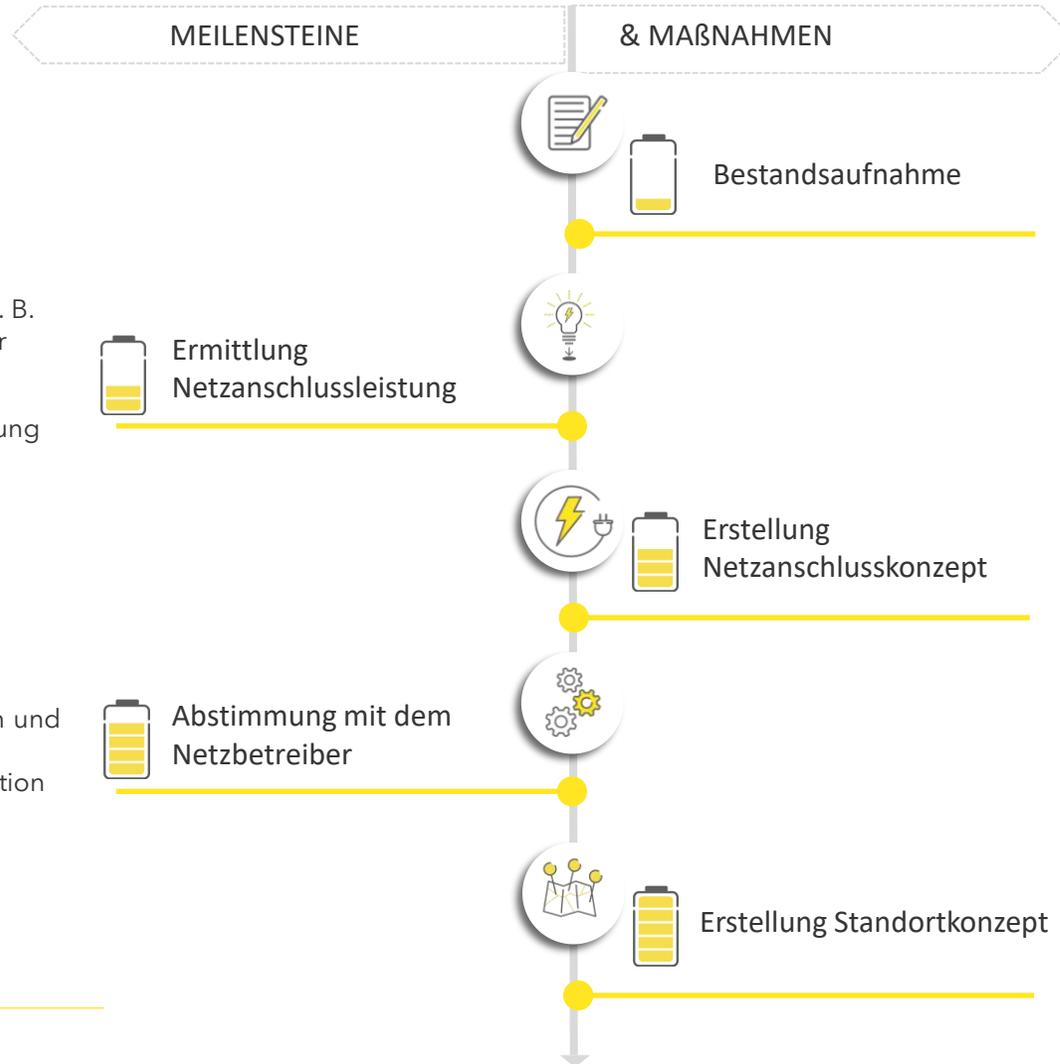
- Aufgrund einer sehr flexiblen und dynamischen Einsatzplanung der Busse ist keine detaillierte Planung basierend auf konkreten Lastgängen möglich. Daher geben Standortfaktoren (wie Flächenverfügbarkeit, mögliche Netzkapazitäten) die Planung vor. Das Ziel ist ein **System mit maximaler Flexibilität**, sodass **so viel erneuerbare Energie wie möglich geladen** werden kann.
- Im Folgenden werden die Vorgehensweise zur Ladeinfrastrukturplanung sowie die Optimierungsmöglichkeiten beschrieben und für Mückenhausen bewertet.

# 3. Standortkonzepte

## 3.1. Vorgehensweise

### VORGEHEN

- Daten aus der Umlaufanalyse
- Aufnahme Nebenlasten (z. B. Gebäude, Waschanlage)
- leistungsreduzierende Maßnahmen (z. B. Lastmanagement, Batteriespeicher zur Lastspitzenkappung)
- Bestimmung finale Netzanschlussleistung
  
- Prüfung, ob geforderte Leistung zur Verfügung gestellt werden kann.
- Prüfung möglicher Netzurückwirkungen und Definition der Anforderungen an Schutzeinrichtungen der Übergabestation



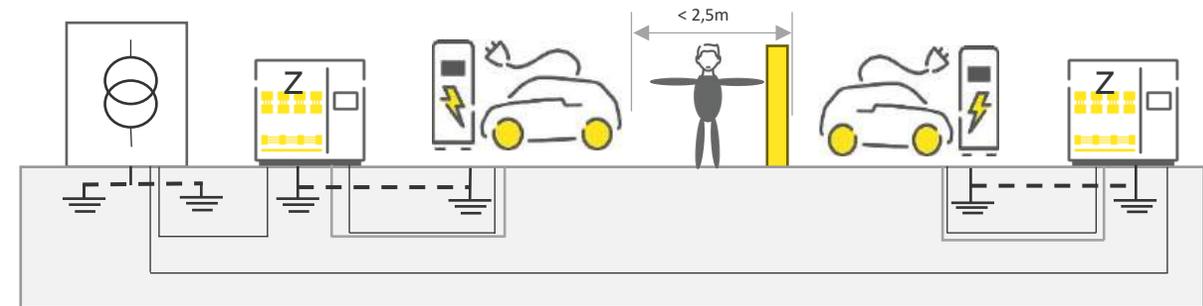
- Relevante Akteure
- Platzangebot + Netzanschluss
- Erzeugungs- + Verbrauchsanlagen
- Energieverbrauch + Leistungsspitzen
- Standortdokumentation (z. B. Schaltpläne)
  
- Distanz Mittelspannungsnetz + Trafo / Trafo + Lastentnahme so gering wie mgl.
- Optimierung der Versorgungssicherheit (redundante Systeme)
  
- Stufenweiser Ausbauplan
- Zentrale / dezentrale Ladesysteme
- Sicherstellung Kommunikationsfähigkeit
- Lärm- und Brandschutzanforderungen
- Werkstattausrüstung
- Mitarbeiterschulungen

# 3. Standortkonzepte

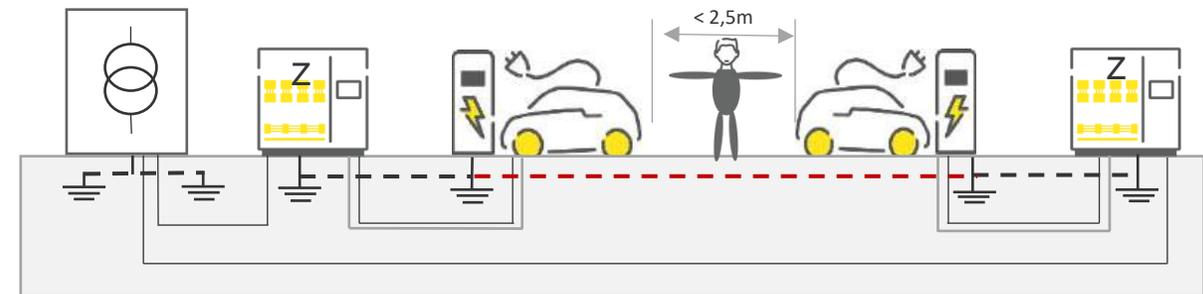
## 3.1. Vorgehensweise

### NETZTRENNKONZEPT BEI MEHREREN ANSCHLÜSSEN AUF EINEM GRUNDSTÜCK

- Bei mehreren Netzanschlüssen auf einem Grundstück ist der VDE FNN Hinweis zur Errichtung von mehreren Netzanschlüssen in einem Gebäude und auf einem Grundstück zu beachten.
- Soll ein neuer MS\*-Anschluss (zuzüglich zum bestehenden NS\*\*-Anschluss) aufgebaut werden, muss ein Netztrennkonzep mit dem Netzbetreiber abgestimmt werden (räumliche oder bauliche Trennung).
- Wenn keine Netztrennung möglich ist, muss der Bestandsanschluss auf den neuen Netzanschluss umgelegt werden.
- Sofern der neue Anschluss ebenfalls aus der Niederspannung aus der gleichen Ortsnetzstation versorgt und die Erdungsanlagen der beiden Netze verbunden werden, gilt das Netztrennungsgebot nicht.



Bauliche Trennung von mehreren Netzanschlüssen auf einem Grundstück - Netzanschlüsse aus einer Ortsstation versorgt



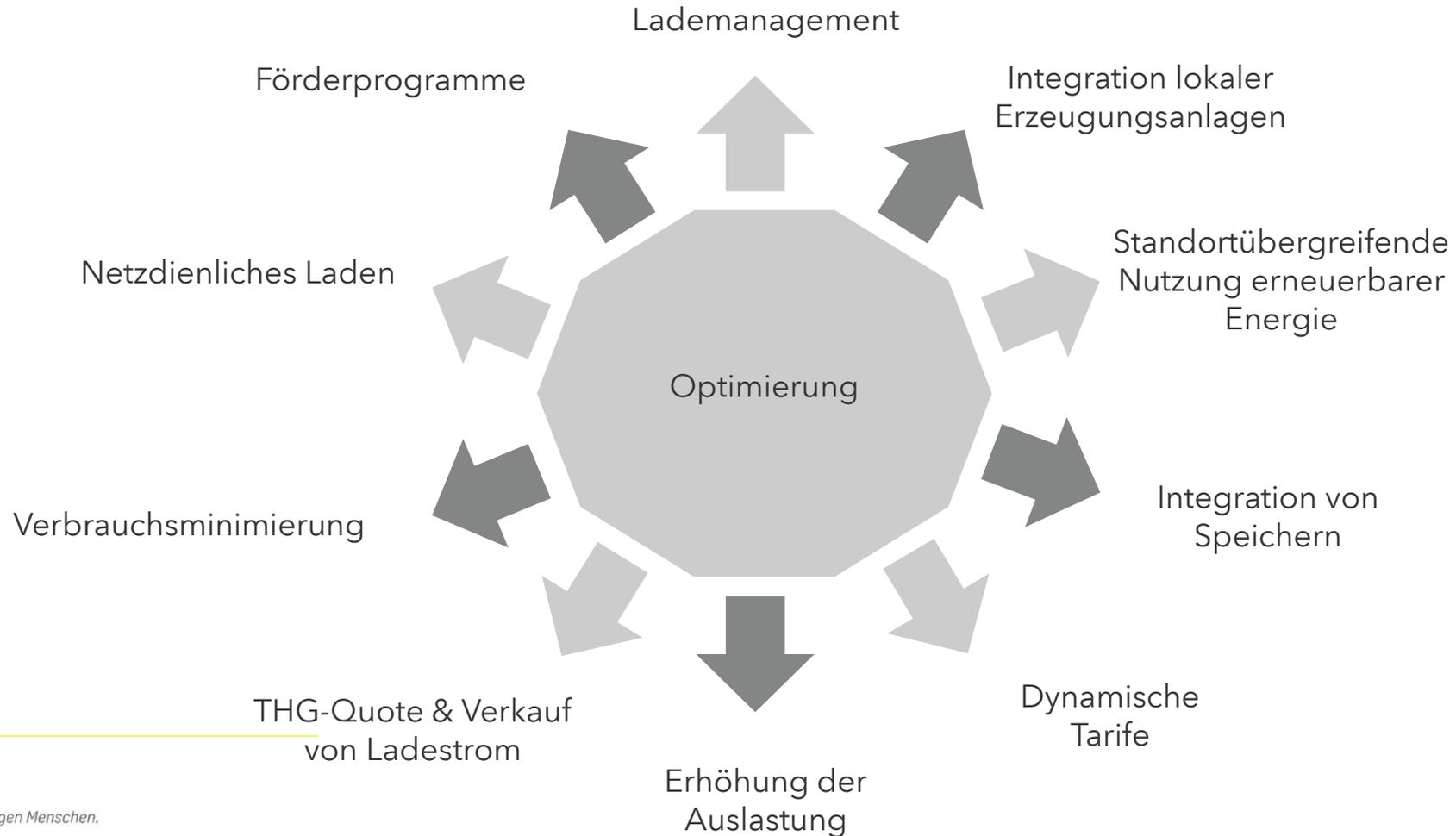
Verbindung der Erdungsanlagen von mehreren Netzanschlüssen aus einer Ortsnetzstation versorgt

[15] VDE FNN Hinweis Netztrennung bei mehreren Netzanschlüssen. Quelle: VDE.

# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### TECHNISCHE & WIRTSCHAFTLICHE OPTIMIERUNG



# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### POTENZIALE ZUR INTEGRATION ERNEUERBARER ENERGIE



Bei Mückenhausen gibt es sowohl Potenziale an den Standorten zum Aufbau von Parkplatz-PV, in und um Gangkofen gibt es Potenziale Freiflächen-PV und perspektivisch auch Wind über das eigene Netz am eigenen Betriebshof in Gangkofen zu nutzen, und es gibt Potenzial die eigene erneuerbare Energie über Offsite-PPAs standortübergreifend zu nutzen.

# 3. Standortkonzepte

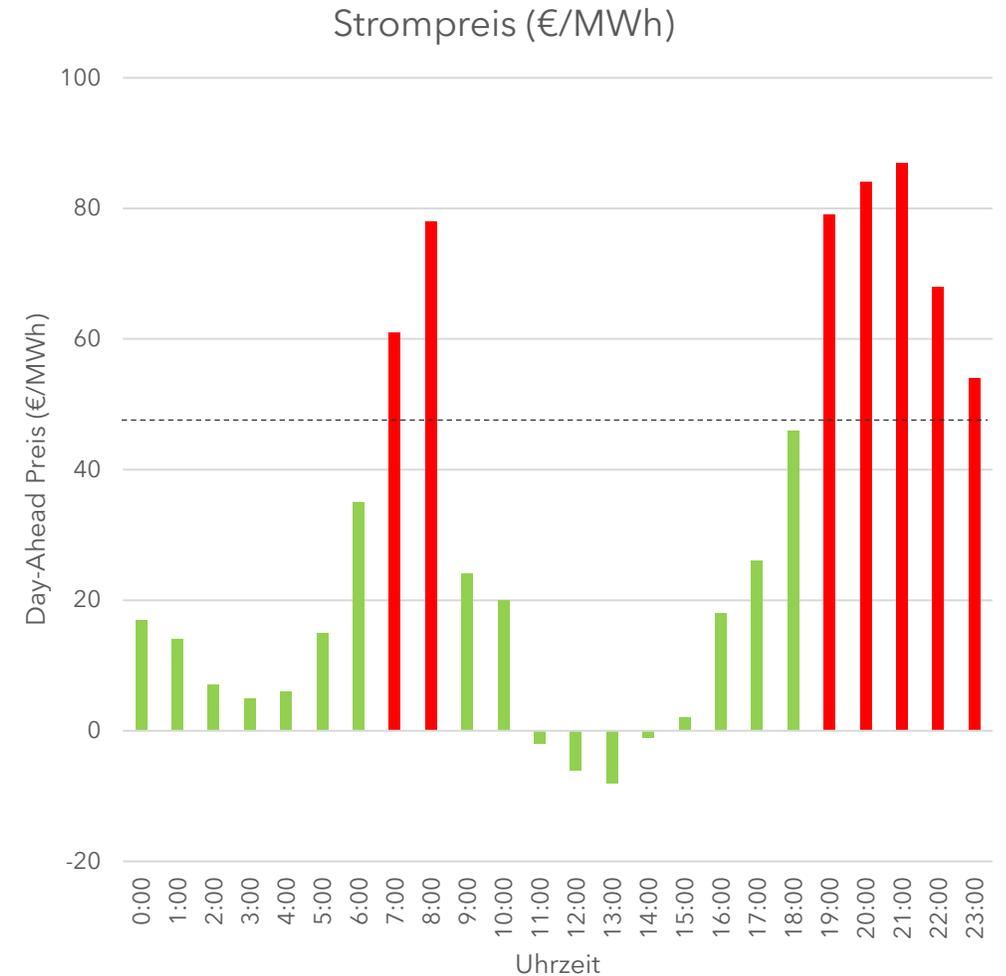
## 3.2. Optimierung

### STROMBESCHAFFUNG

#### Optimiertes Laden mit dynamischen Tarifen

- Optimierung des Ladens nach dem Börsenstrompreis, d.h. möglichst dann Laden, wenn der Strom gerade günstig ist.
- Voraussetzung: Smart Meter und dynamischer Tarif

Spotmarktoptimiertes Laden hat v.a. dann ein hohes Potenzial, wenn Ladevorgänge überwiegend zu den günstigeren Zeiten stattfinden (nachts / tagsüber) oder wenn ausreichend Zeit vorhanden ist, um **Ladevorgänge in günstige Zeiten zu verschieben** (lange Standzeiten und kurze Distanzen, wie häufig im ÖPNV). Weiterhin muss die **Ladeinfrastruktur überdimensioniert** sein, sodass innerhalb kurzer Zeit, wenn die Energie günstig ist, viel Energie geladen werden kann. Auch Speicher helfen weiterhin, um dynamische Tarife optimal auszunutzen.



[16] Day-Ahead Preis - Beispiel. Quelle: GP JOULE, eigene Darstellung.

# 3. Standortkonzepte

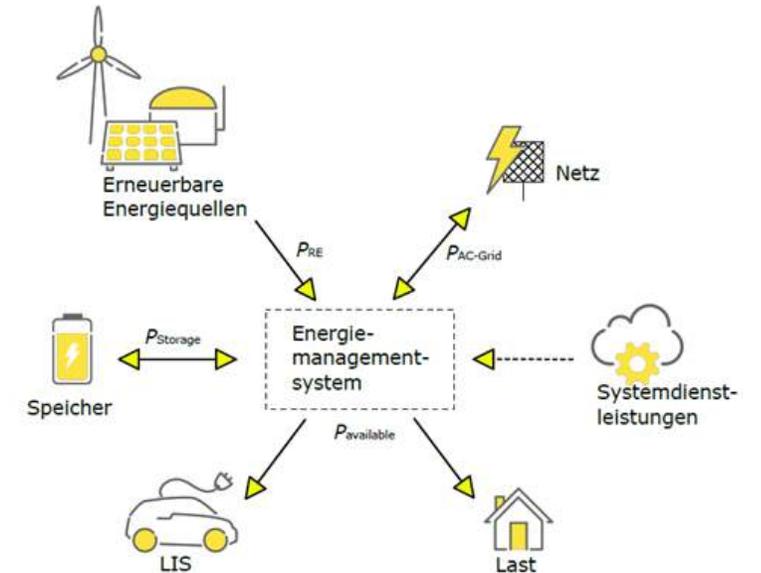
## 3.2. Optimierung

### LADEMANAGEMENT

Gründe für ein Lademanagement / Energiemanagement bei Mückenhausen

- Priorisierung von Ladepunkten oder Nutzern, fahrplanbasiertes Laden
- Eigenverbrauchsoptimierung durch Verschiebung der Last in die günstigen Stunden (entweder dann, wenn Börsenstrom günstig (bei dyn. Tarifen), oder dann wenn eigene EE vorhanden)

Ein Lademanagement ist sinnvoll, wenn man die Zeit hat Lasten zu verschieben. Beim Betriebshofladen hat man häufig lange Ladezeitfenster und damit ein hohes Flexibilisierungspotenzial. Muss die Last zu gegebener Zeit abgerufen werden (Prozess kann nicht verschoben werden, wie z.B. beim öffentlichen Laden), dann ist ein Speicher notwendig. Bei Mückenhausen sollte ein Lademanagement darauf eingestellt werden, so viel wie möglich tagsüber zu laden (mit einer hohen Leistung), um die eigene erneuerbare Energie in die Fahrzeuge zu bringen. Speicher können die Flexibilität zusätzlich erhöhen.



[17] Energiemanagementsystem. Quelle: GP JOULE, eigene Darstellung.

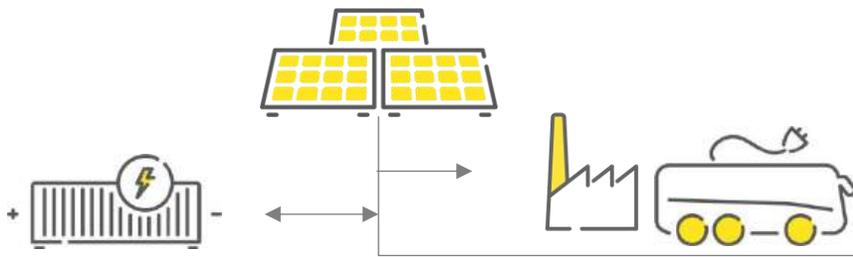
# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### SPEICHER

#### BEHIND-THE-METER-SPEICHER

(auf Verbraucherseite)



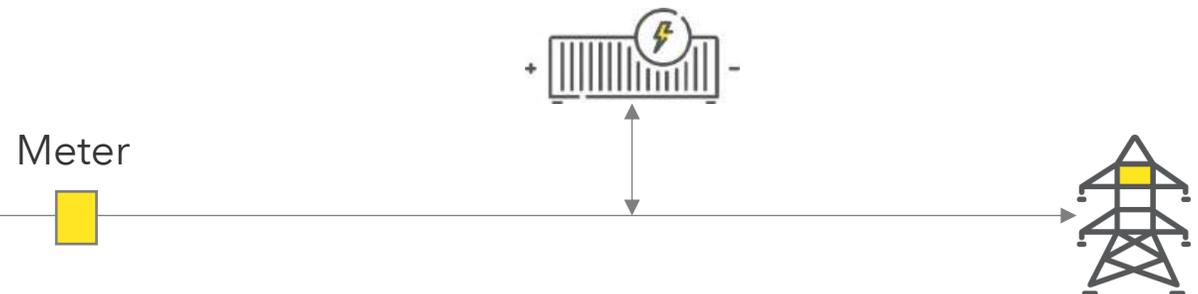
#### Anwendungsfälle:

- **Eigenverbrauchsmaximierung** von erneuerbarer Energie: Reduzierung des Bezugs von Netzstrom, Erhöhung der Energieunabhängigkeit
- **Lastspitzenkappung:** Verminderung der Netzentgelte, Netzausbau, Baukostenzuschüsse
- **Multi-Use:** EV-Optimierung + Lastspitzenkappung

FOKUS\*

#### IN-FRONT-OF-THE-METER-SPEICHER

(Auf Netzebene)



#### Anwendungsfälle:

- **Arbitrage-Handel** (Day Ahead / Intraday Markt)
- **Systemdienstleistungen:** Primärregelleistung, Sekundärregelleistung, ggf. Minutenreserve

# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### SPEICHER

#### Behind-the-Meter Speicher (IFOTM)

- Optimiert Verbraucher vor Ort (auf Verbraucherebene)
- Abgestimmt auf den Standort (Analyse des Verbraucherverhaltens zur Speicherauslegung notw.)
- Der Eigenverbrauch aus PV-Anlagen wird vor Ort maximiert, damit Netzbezüge minimiert werden, oder Lastspitzenkappung, um Netzentgelte, Netzausbau und Baukostenzuschüsse zu minimieren
- Je nach Standort kommen auch kleinere Speicher in Betracht (<1 MWh)

#### In-Front-of-the-Meter Speicher (BTM)

- Großspeicher auf Netzebene dienen zur Sicherstellung der allgemeinen Netzstabilität und -qualität
- Erlösaussichten unplanbar aufgrund erfolgsabhängiger Vergütung und stark volatiler Prognosen und Regulatorien, auf welchen Geschäftsmodelle aufbauen, können sich schnell ändern (Netzentgeltbefreiung, Gebotszonensplits) und es gibt keine Langzeitprognosen zum Intraday-Markt

#### Hinweis

Keine Vermischung der IFOTM-Modelle (z.B. Lastspitzenkappung) mit BTM-Modellen (z.B. Arbitrage-Handel) innerhalb eines Speichers umsetzbar, da Netzentgeltbefreiung der Speicher dann nicht greift (worauf die Wirtschaftlichkeit von BTM-Speichern basiert)\*.

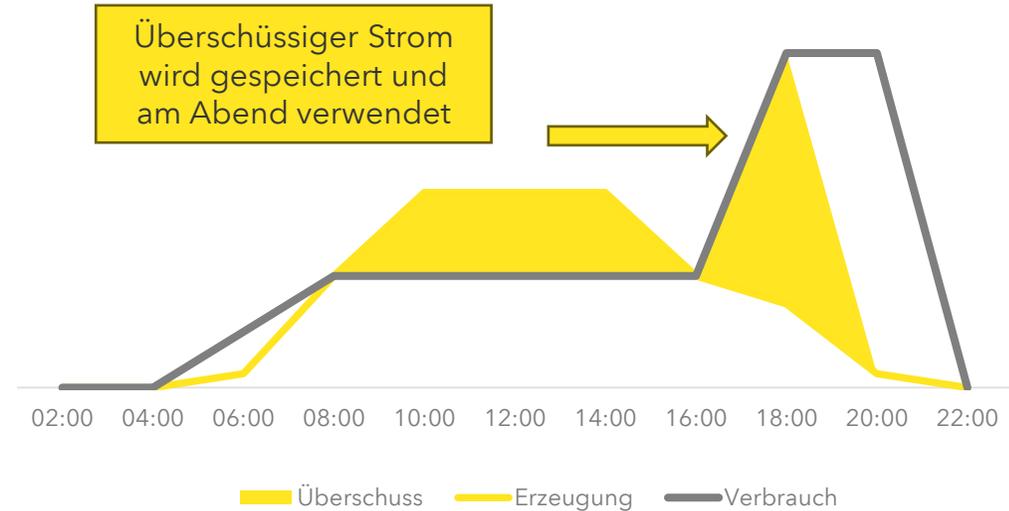
# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### SPEICHER

#### Use Case: Maximierung des Eigenverbrauchs

- Durch eine Optimierung des Eigenverbrauchs reduzieren sich die **Strombezugskosten**, da weniger Energie aus dem Netz bezogen werden muss.
- Der **Speicher** sollte möglichst viele Zyklen fahren (mind. >250), um eine **Wirtschaftlichkeit** zu erreichen.



[18] Eigenverbrauch. Quelle: GP JOULE, eigene Darstellung.

Für Mückenhausen ist der Use-Case **Eigenverbrauchsmaximierung** der **wichtigste Use-Case**, um die **Busse**, die zum **Großteil Nachts** laden mit **erneuerbarer PV-Energie**, die **tagsüber** erzeugt wird, zu decken. Mittels **Lademanagement** sollte versucht werden, so viel Energie wie möglich tagsüber in die Busse zu laden. Indem die **Leistung tagsüber maximiert** und **nachts** dafür ggf. **reduziert** wird. Da viele Busse tagsüber gar nicht am Standort sind, müssen trotzdem Speicher angeschafft werden, um die PV-Energie zu nutzen.

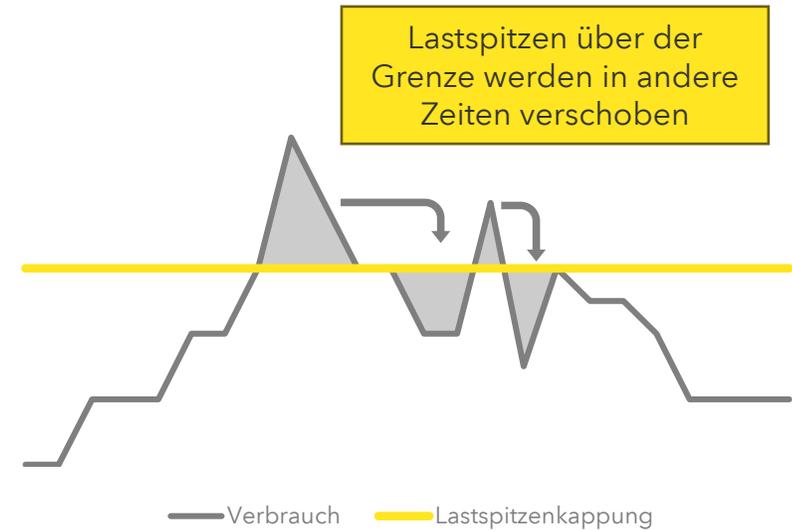
# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### SPEICHER

#### Use Case: Lastspitzenkappung

- Durch die Reduktion der maximalen Last im Jahr sinkt der Leistungspreis. Denn Leistungspreis = Spitzenlast (kW) × Preis pro kW.
- Weiterhin kann der Netzanschluss kleiner dimensioniert werden, wodurch Kosten gespart werden.
- Ein Speicher zur Lastspitzenkappung ist v.a. dann sinnvoll, wenn die Last zeitlich nicht verschoben werden kann.
- z.B. öffentliches Laden: Es bleibt keine Zeit einen Teil der Last durch Lademanagement in eine andere Zeit zu verschieben, da das Fahrzeug nur kurz steht.
- Wenn Zeit bleibt, ist ein Lademanagement zu empfehlen.



[19] Lastspitzenkappung. Quelle: GP JOULE, eigene Darstellung.

Der Use-Case Lastspitzenkappung ist für Mückenhausen weniger relevant, da es v.a. darum geht mit hoher Leistung zu den günstigen Zeiten zu laden, wodurch hohe Lastspitzen entstehen. Insbesondere am eigenen Netz in Gangkofen ist dies weniger relevant, da sowieso keine Netzentgelte für den vor Ort verbrauchten PV-Strom anfallen.

# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### SPEICHER

#### Multi Use Case: Lastspitzenkappung + Eigenverbrauchsoptimierung

- **Atypische Netznutzung:** Lastspitzen werden nur in Hochlastzeitfenstern gekappt.
- In den durch den Netzbetreiber definierten **Hochlastzeitfenstern (HLZ)** kann der Speicher zur **Lastspitzenkappung** genutzt werden. Während der **Niedriglastzeitfenster (NLZ)** kann der Speicher dann zur **Eigenverbrauchsoptimierung** genutzt werden. Gezahlt wird dann nur ein **Leistungspreis** für die maximale Last im HLZ.
- Häufig sind **HLZ im Winter**, während die Sonne sowieso nicht viel scheint. Dann kann der Speicher zur Lastspitzenkappung genutzt werden.
- In den Sommer-,Frühlings-, und Herbstmonaten, in denen mit **hohen PV-Überschüssen** zu rechnen ist und der VNB meist kein HLZ definiert hat, könnte der Speicher zur **Eigenversorgung** genutzt werden



[20] Lastspitzenkappung und Eigenverbrauch. Quelle: GP JOULE, eigene Darstellung.

Eigenverbrauchsoptimierung in **Niedriglastzeiten** + **Lastspitzenkappung** in **Hochlastzeiten** (atypische Netznutzung) kann die **Wirtschaftlichkeit** eines Speichers verbessern, insbesondere wenn die HLZ im Winter liegen, wenn die Sonne weniger scheint und damit eine **EV-Optimierung** weniger Potenzial hat oder dann, wenn die Lastspitzen sowieso überwiegend in die **Niedriglastzeitfenster** fallen. Dies könnte an allen Standorten außer Gangkofen interessant werden, da dort Netzentgelte gezahlt werden.

# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### SPEICHER

#### Multi Use Case: Lastspitzenkappung + Eigenverbrauchsoptimierung

- **Atypische Netznutzung:** Lastspitzen werden nur in Hochlastzeitfenstern gekappt.
- **Lastspitzenkappung:** In den durch den Netzbetreiber definierten **Hochlastzeit-fenstern (HLZ)**. Gezahlt wird dann nur ein Leistungspreis für die maximale Last im HLZ.
- **Eigenverbrauchsoptimierung:** Während der **Niedriglastzeitfenster (NLZ)**
- Häufig sind **HLZ im Winter**, während die Sonne sowieso nicht viel scheint. Dann kann der Speicher zur Lastspitzenkappung genutzt werden, die anderen Monate mit hohen PV-Überschüssen wird er zur Eigenverbrauchsoptimierung genutzt.



[21] Lastspitzenkappung und Eigenverbrauch. Quelle: GP JOULE, eigene Darstellung.

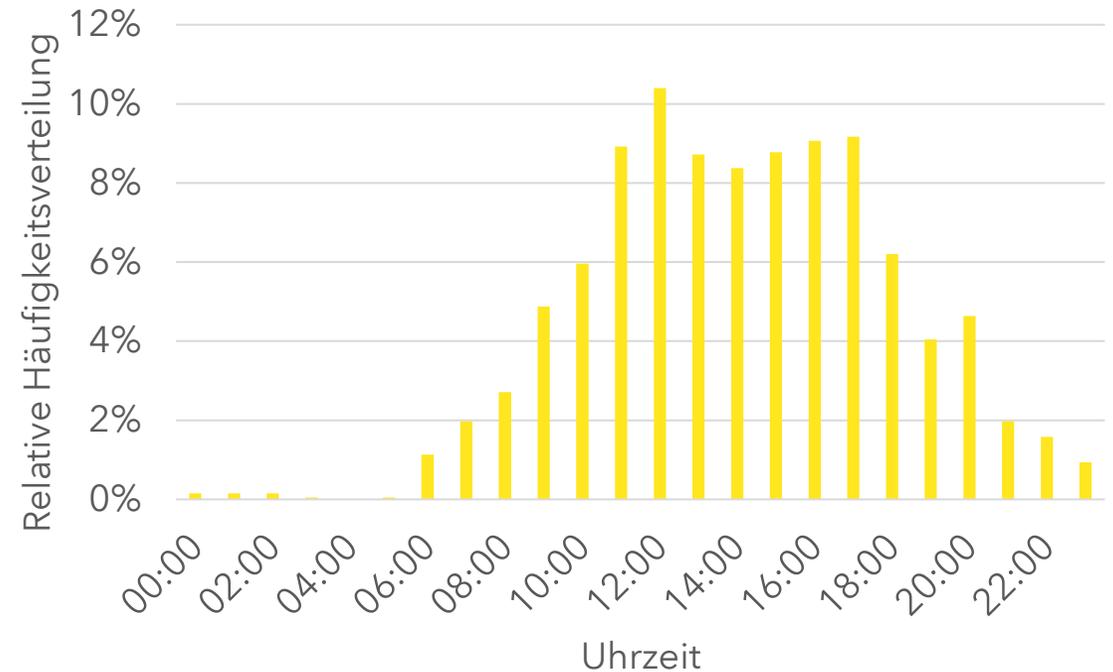
# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### ERHÖHUNG DER AUSLASTUNG

- Fuhrparks von ortsansässigen Unternehmen (Wartungs- und Reinigungsdienste, Lieferdienste für Restaurants, Sicherheitsdienste, medizinische Transportdienste, Taxiunternehmen, städtischer Fuhrpark)
- Mitarbeitende von Betrieben in der unmittelbaren Umgebung
- Öffentliches Schnellladen als zeitlich optimale Ergänzung zum nächtlichen Betriebshofladen
- Öffentliches Laden PKWs mit mind. 1,6 Ladevorgänge/Ladepunkt/Tag (30 kWh/LV)
- VLP-Bus-Laden
- E-LKW-Laden (deutlich mehr Umsatz pro Ladung als PKW-Laden)
- THG-Quote für öffentliche Ladeinfrastruktur

Durchschnittlicher Lastgang Öffentliches Schnellladen an Verkehrsachsen + Interessenpunkten



# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### E-LKW LADEN ALS ANWENDUNGSFALL ZUR STEIGERUNG DER AUSLASTUNG

- Täglich einzuhaltende Ruhezeit: 11h, bei Aufteilung mind. 3h und 9h am Stück. Nach 4,5h muss 45min Lenkzeitunterbrechung eingehalten werden.
- Starker Mangel an Lkw-Parkplätzen im Fernverkehr, welcher sich durch Ausbau von LIS weiter erhöht (95% des deutschen Schwerlastverkehrs kann mit Depotladen auskommen).
- Nutzung von Flächen abseits großer Verkehrsachsen dringend notwendig. Das Laden an fremden Betriebshöfen wird zum Anwendungsfall.

#### Voraussetzung

- Gesamte Ruhezeit muss am Betriebshof verbracht werden. **Je nach verfügbarer Ladeleistung wird gesamte Zeit auch zur Vollladung benötigt** (bei 100 - 150 kW Ladeinfrastruktur-Leistung, heute schon bis zu 1000 kWh Batterien).
  - Es kann eine **Mindestgebühr** für das Parken verlangt werden (um zu vermeiden, dass LKW nur wenig lädt und wenig zahlt, aber den Parkplatz lange blockiert).
- Gewisse Ladeleistung muss garantiert werden (Spitzenglättung durch Lademanagement muss z.B. einbezogen werden)!

# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### LKW-LADEPUNKTE-ANZEIGE UND -RESERVIERUNGSSYSTEME IN ARBEIT

- Reservierungssysteme für LKW-Parkplätze auf nicht öffentlichen Flächen privater Anbieter bereits vorhanden (<https://www.maptrip.de/parken-lkw>). Notwendig, um das Reservieren von Ladeeinrichtungen zu erweitern.
- Taskforce aus NOW + weiteren Stakeholdern befasst sich mit der Thematik der Integration eines LIS-Reservierungssystems in Routenplanungssysteme (Leitfaden eLKW Laden).
- Lkw-spezifische öffentliche Ladepunkte sollen in das Ladesäulenregister der Bundesnetzagentur (BNetzA) aufgenommen werden. Entsprechende Apps werden diese Daten abrufen und mit Hinweisen zu den räumlichen Bedingungen anreichern (in Arbeit).

#### Voraussetzung

- Verfügbare **Ladezeitfenster** können vom Betreiber der Ladeinfrastruktur **festgelegt** werden (dann, wenn eigene Busse nicht da sind).
- Es muss sichergestellt werden, dass Zeitfenster eingehalten werden.
- Vorstellbar ist ein **Bonus- oder Malus-System**. Für eingehaltene Zeitfenster werden Nutzende mit vorher festgelegten Privilegien, wie reduzierten Gebühren, Konsum- oder Servicegutscheinen vor Ort, belohnt. Alternativ verlieren sie bei Missachtung solche Privilegien.

# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### BENÖTIGTE AUSSTATTUNG FÜR LKW-LADEN

- **Übernachtsladen:**
  - Essenziell: Toiletten, Ausreichende Beleuchtung, Einzäunung, Kameraüberwachung, Lärmschutz, Snacks und warme Getränke
  - Wünschenswert: Duschen, warme Mahlzeiten, Einkaufsmöglichkeiten, Kostenfreies WLAN, Wäschereinigungsmöglichkeiten, Schneeräumgerüst zur Entfernung gefährlicher Schneelasten auf dem LKW-Gespann
- **Zwischendurchladen** (Betriebshof nicht dafür geeignet, da zu hohe Ladeleistungen notwendig):
  - Essenziell: Toiletten, Ausreichende Beleuchtung, Abfallentsorgung
  - Wünschenswert: Überdachung als Wetterschutz, Einkaufsmöglichkeiten

# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### WAS IST ZU BEACHTEN, SOBALD DRITTE AN DER LADEINFRASTRUKTUR LADEN?

- Anzeige der Ladepunkte bei der Bundesnetzagentur (für öffentlich-zugängliche Ladepunkte)
- Installation von mess- und eichrechtskonformer Ladeinfrastruktur
- Klärung versicherungs- und haftungsrechtlicher Fragen bei Zugang von Dritten auf das Privatgelände
- Festlegung der Nutzungsbedingungen (z.B. maximale Parkdauer und Strafzahlungen bei Nichteinhaltung)
- Jährliche Wartung für öffentliche Ladeinfrastruktur verpflichtend
- Bewerbung der Ladesäulen
- Bereitstellung von Kundensupport
- Abrechnung der Ladevorgänge gegenüber Dritten \*

#### Hinweis

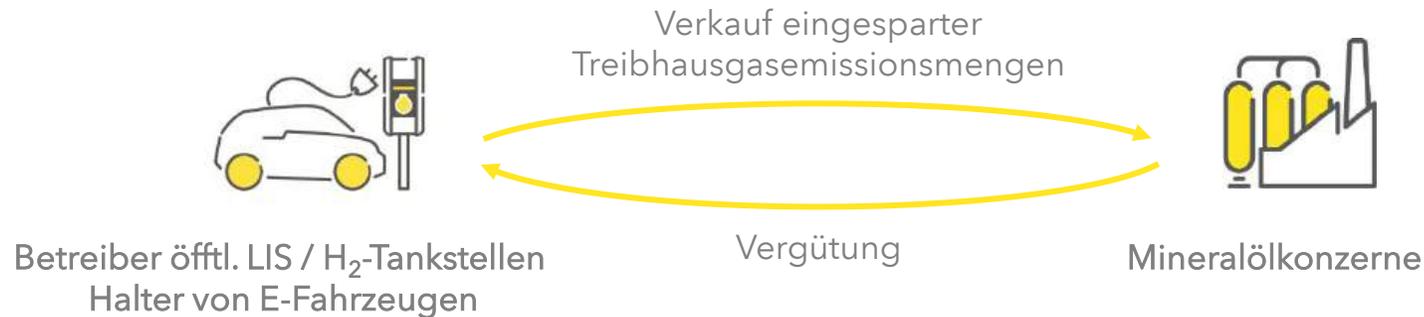
Das Potenzial der Erhöhung der Auslastung durch Dritte wird für die betrachteten Standorte als gering eingestuft (keine Lage an hochfrequentierten Verkehrsstraßen) und es konnten aktuell keine weiteren Ankerkunden identifiziert werden.

# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### GENERIERUNG VON ERLÖSEN DURCH DIE THG-QUOTE

- Ziel der Verordnung zur Treibhausgasminderungsquote: Senkung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor durch.....
  - Incentivierung zum Umstieg auf klimafreundliche Kraftstoffarten
  - Künstliche Verteuerung fossiler Kraftstoffarten
- Auf der einen Seite tragen Inverkehrbringer von Strom im Verkehrssektor (bspw. Betreiber öffentlicher Ladeinfrastruktur) aktiv zu einem klimafreundlicheren Verkehr bei.
- Auf der anderen Seite sind Inverkehrbringer klimaschädlicher Kraftstoffarten fossiler Natur dazu verpflichtet treibhausgasmindernde Maßnahmen (Strom, Biokraftstoffe, eFuels, Wasserstoff) in ihre THG-Quotenbilanz einzubinden.
- Durch den Mechanismus der THG-Quote können bis 2030 zusätzliche Erlöse durch öffentliche Ladeinfrastruktur generiert werden, die Höhe ist abhängig von Angebot und Nachfrage gemäß den Zertifikaten.



# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### VERBRAUCHSMINIMIERUNG

#### Einflussfaktoren auf Verbrauch:

- Temperatur (Heizung / Klimaanlage)
- Streckenprofil (Steigung, Kurven etc..)
- Fahrverhalten /  
Fahrweise (Beschleunigung/Geschwindigkeit)
- Gewicht des Fahrzeugs (Passagierbelastung,  
Eigengewicht u.a. durch Batteriegröße)
- Effizienz des Fahrzeugs ( z.B. Reifendruck, Antrieb)
- Antriebstechnologie (radnabennaher Antrieb vs.  
zentraler Antrieb)

#### Maßnahmen zur Verbrauchsreduzierung:

- Automatische Begrenzung von Beschleunigung +  
Geschwindigkeit. Größter Einfluss: Geschwindigkeit.
- Schulung von Mitarbeitern
- Einschalten des Öko-Modus
- Wenn möglich Fahrzeug in einer Halle (Winter) oder unter  
einem Dach (Sommer) parken
- Vermeidung der Entladung des Akkus unter 10%
- Radnabennaher Antrieb am effizientesten

# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### NETZDIENLICHES LADEN

- Netzdienliches Laden wird aktuell vor allem von Privatpersonen und Betreibern von Elektrofahrzeugen genutzt. Der Fokus liegt aktuell auf nicht-öffentlichen Ladepunkten.
- Netzdienliches Laden ermöglicht die Reduzierung der Ladeleistung durch den Netzbetreiber bei hoher Netzbelastung und entlastet somit das Stromnetz. Ziel ist es Lastspitzen zu vermeiden und teure Netzausbaumaßnahmen zu reduzieren.
- Manche Netzbetreiber bieten Netzentgeltreduzierungen durch netzdienliches Laden auch für Großverbraucher an. Es konnten keine Antworten dazu vom Bayernwerk erhalten werden.

### Netzentgelte für steuerbare Verbrauchseinrichtungen gemäß § 14a EnWG

(Preisblatt sVE - Modul 1)  
Gültig ab 01. Januar 2024

#### Netznutzung mittels registrierender Leistungsmessung

Folgende Voraussetzungen sind für eine Vereinbarung zur netzorientierten Steuerung gemäß § 14a EnWG bei steuerbaren Verbrauchseinrichtungen nach Abrechnungsmodul 1 einzuhalten:

- bestehender Netznutzungsvertrag zwischen Netzbetreiber und Lieferant oder Letztverbraucher
- technische Möglichkeit zur Reduzierung des netzwirksamen Leistungsbezugs der Verbrauchseinrichtung durch den Netzbetreiber zur Netzentlastung

Zu steuerbaren Verbrauchseinrichtungen gehören Elektro-Wärmepumpen, nicht öffentliche Ladepunkte für Elektromobile, Anlagen zur Raumkühlung und Stromspeicher hinsichtlich der Stromentnahme (Einspeicherung) mit einer Netzanschlussleistung von mehr als 4,2 kW gem. Ziffer 2.4.1 des Beschlusses BK6-22/300.

Die pauschale Netzentgeltreduzierung nach Modul 1 darf das an einer Entnahmestelle zu zahlende Netzentgelt 0,00 Euro nicht unterschreiten (negative Netzentgelte sind nicht möglich).

Jahresbenutzungsdauer	< 2.500 Bh		≥ 2.500 Bh	
	Leistungspreis €/ kW'a	Arbeitspreis ct/kWh	Leistungspreis €/ kW'a	Arbeitspreis ct/kWh
Entnahmestelle				
Umspannung Mittel-/ Niederspannung	23,46	8,95	238,13	0,36
Niederspannung	25,15	7,91	157,29	2,62
Pauschale Netzentgeltreduzierung für Entnahmestellen mit steuerbaren Verbrauchseinrichtungen gem. Modul 1		€/a Netto		
Pauschale Reduzierung* -		-131,58		

[23] Preisblatt Netzentgelte. Quelle: Bayernwerk Netz.

# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### FÖRDERMÖGLICHKEITEN

#### Bayern - Förderung Omnibusbetriebshof\*

- Für Unternehmen, die allgemeine Linienverkehre nach § 42 PBefG als Genehmigungs-inhaber, Betriebsführer oder Auftragnehmer durchführen, kommt eine **Förderung nach dem BayGVFG** und nach Art. 13 c Abs. 2 **FAG** dem Grunde nach in Betracht.
- Fördersatz nach **BayGVFG beträgt derzeit 50 %** der zuwendungsfähigen Kosten, **FAG-Fördersatz 5 %** (wenn zuwendungsfähige Kosten > 100 T€).
- Neben der Förderung von Baumaßnahmen am Omnibusbetriebsbus können **Ladeinfrastruktur und Tankstellen** gesondert gefördert werden.
- Soweit das Vorhaben nicht ausschließlich dem ÖPNV dient, sind die zuwendungsfähigen Kosten **nur für den ÖPNV-Anteil** der im Kalenderjahr gefahrenen Kilometer anzusetzen.
- Beispiel Fördersatz: ( 50 % + 5 % (da > 100.T€) ) x 90 % (ÖPNV-Anteil) = 49,5 % Förderung
- Neben der Ladeinfrastruktur für Elektrobusse sind **auch PV-Anlagen und Speicher- und Batteriesysteme** förderfähig. Voraussetzung ist, dass der Strom für den Eigenverbrauch zum Laden der Busse im ÖPNV-Einsatz verwendet wird und der Energieversorger die Stromversorgung der Ladeinfrastruktur nicht vollumfänglich sicherstellen kann.

# 3. Standortkonzepte

## 3.2. Optimierung

### FÖRDERMÖGLICHKEITEN

#### Bayern - Förderung Busbeschaffung

- Busförderung nach BayGVFG Art. 2
- Ab 2025 keine Förderung von Dieselnissen mehr, nur noch Förderung von Klimabussen.
- Förderung für 2024 hängt noch an den Haushaltsplanungen im Freistaat Bayern
- Gefördert wird die Beschaffung von Linienomnibussen und Gelenkomnibussen sowie Tank- und Ladeinfrastruktur für alternative Antriebe, soweit diese zum Erhalt und zur Verbesserung von Linienverkehren nach § 42 des Personenbeförderungsgesetzes erforderlich sind und überwiegend für diese Verkehre eingesetzt werden.

*Eine Anpassung der in der Tabelle genannten Förderhöhen im Rahmen der Haushaltsplanungen für 2024 ist nicht auszuschließen*

Buskategorie	Dieselbusse Euro VI und Mild-Hybrid		Ab 2022: Emissionsarme Antriebe	Ab 2022: Emissionsfreie Antriebe
	Jahr 2022	Jahre 2023/24		
Kleinbusse (6,00 – 7,49 m)	25.000 €	15.000 €	25.000 €	30.000 €
Midibusse (7,50 – 11,49 m)	42.000 €	35.000 €	45.000 €	50.000 €
Standardbusse (11,50 – 12,99 m)	60.000 €	45.000 €	65.000 €	75.000 €
Busse von 13,00 – 13,89 m	65.000 €	50.000 €	75.000 €	80.000 €
Busse von 13,90 – 15,00 m	70.000 €	60.000 €	80.000 €	85.000 €
Gelenkbusse	85.000 €	70.000 €	90.000 €	105.000 €

[24] Förderhöhen für Busse. Quelle: Eckpunktepapier zur Förderung von Klimabussen im Rahmen der Busförderung im Freistaat Bayern.

# 3. Standortkonzepte

## 3.3. Dimensionierung

### BEDARFSGERECHTE VS. ÜBERDIMENSIONIERTE AUSLEGUNG DER INFRASTRUKTUR

Faktoren, die für eine Überdimensionierung sprechen  
= Betriebskostenoptimierung

- Potenzial zur Integration erneuerbarer Energien (per Direktleitung oder durch PPAs) - „schnelles Laden wenn die Sonne scheint“
- Dynamischer Tarif „schnelles Laden wenn günstiger Strompreis“
- Niedriger Leistungspreis
- Einfache Netzanschlusserweiterung (z.B. Lage an MS-Netz)
- Förderprogramme für Investitionskosten vorhanden
- Potenzial für Drittladen (Schnellladen)

Faktoren, die für eine bedarfsgerechte Auslegung sprechen  
= Investitionskostenoptimierung

- Begrenzte Netzanschlusskapazitäten
- Hoher Aufwand +Kosten für Netzerweiterung (z.B. hohe Distanz vom MS-Netz, hoher Baukostenzuschuss)
- Hoher Leistungspreis
- Standardtarif
- Kein Potenzial zur Integration EE (eigene Anlagen / On-Site-PPA)
- Kein Potenzial für schnelles Drittladen

Bei Mückenhausen wird zu einer Überdimensionierung geraten, um die eigenen erneuerbaren Energien bestmöglich für eigene Verbraucher nutzen zu können (z.B. Schnellladen wenn die Sonne scheint). Weiterhin hat Mückenhausen für seinen Hauptstandort Gangkofen ein eigenes Netz mit sehr hohen Kapazitäten. Dies sind beste Voraussetzungen für eine Betriebskostenoptimierung.

# 3. Standortkonzepte

## 3.3. Dimensionierung

### DIMENSIONIERUNG AUSSCHLAGGEBEND FÜR WIRTSCHAFTLICHKEIT DES SPEICHERS

Annahmen für den Use Case: 100 % Elektrifizierung (Endausbaustufe), Großteil der Busse lädt, wenn die Sonne nicht scheint!  
Damit erreichen wir ohne Speicher nur einen geringen Autarkiegrad, in Realität kann vrsl. bereits mittels Lademanagement ein deutlich höherer Autarkiegrad erreicht werden, indem so viel wie möglich tagsüber geladen wird.

#### Stromverbrauch

Gesamt = 10.000.000 kWh / a,  
überwiegend nachts

#### PV

Anschlussleistung = 15.000 kWp

#### Batterie

Nutzbare Kapazität = 30.000 kWh

Be- und Entladeleistung = 15.000 kW

PV-Ertrag = 14.300.000 kWh / a

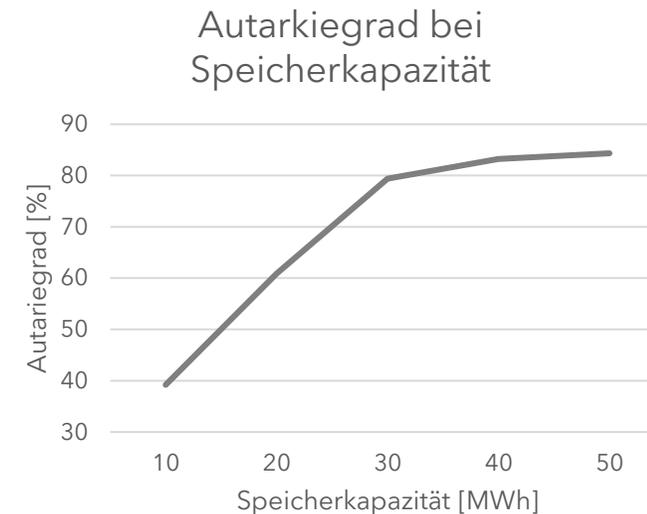
Eigenverbrauchsanteil<sub>ohne Speicher</sub> = 8,54 %

Eigenverbrauchsanteil<sub>mit Speicher</sub> = 53,15 %

Anzahl Vollladezyklen<sub>Speicher</sub> = 202

Autarkiegrad<sub>PV</sub> = 12,76%

Autarkiegrad<sub>PV & Speicher</sub> = 79,37 %



A close-up photograph of a business meeting. In the foreground, a person's hand is using a black calculator on a desk. To the left, another person's hand holds a white tablet. In the background, a third person's hand points at a document. The desk is covered with various financial documents, including a pie chart and a bar chart. The overall scene is brightly lit, suggesting an office environment.

# 4. GESAMTKOSTENBETRACHTUNG

# 4. Gesamtkostenbetrachtung

## 4. Gesamtkostenbetrachtung

### BEISPIELRECHNUNG

- Es werden die **Gesamtkosten über 10 Jahre** bei einer schrittweisen Umstellung auf **16 Elektrobussen vs. 16 Dieseln** verglichen (2 Busse pro Jahr ab 2025)
- Gesamtkosten **Ladeinfrastruktur Endausbaustufe** bei heutigen Kosten für 16 Solobusse: = 1.322.628 € = **82.664 € / Bus** (davon Kosten für Vorrüstung: 622.628 €, Kosten je Ladesäule mit 2 Ladepunkten: 87.500 € = 700.000 € für 16 Busse)
- **Fahrzeugpreise Batteriebusse sinken** über die Zeit, u.a. aufgrund höherer Abnahmemengen, **Fahrzeugpreise Dieseln steigen** über die Zeit, u.a. aufgrund geringerer Abnahmemengen
- **Förderung von 75.000 € pro E-Bus ab 2025 bis 2030** aus dem Bayernprogramm + **3.000 € THG-Quote / E-Bus bis 2030**
- **Werkstattanpassungen** in zwei Ausbaustufen (2025 und 2029) berücksichtigt
- **Wartungskosten E-Flotte** geringfügig unter denen der **Dieselflotte**, Personalkosten gleich
- Annahme **Dieselnkosten** von durchschnittlich **2 €/Liter** über 10 Jahre
- Annahme **Netz-Strompreis inkl. Netzentgelten und Umlagen: 25,7 ct / kWh** (Referenzdurchschnittswert aus Prognosen der nächsten Jahre der Stadtwerke Passau, ohne Gewähr)
- Ohne Finanzierungskosten und Wiederverkaufswert

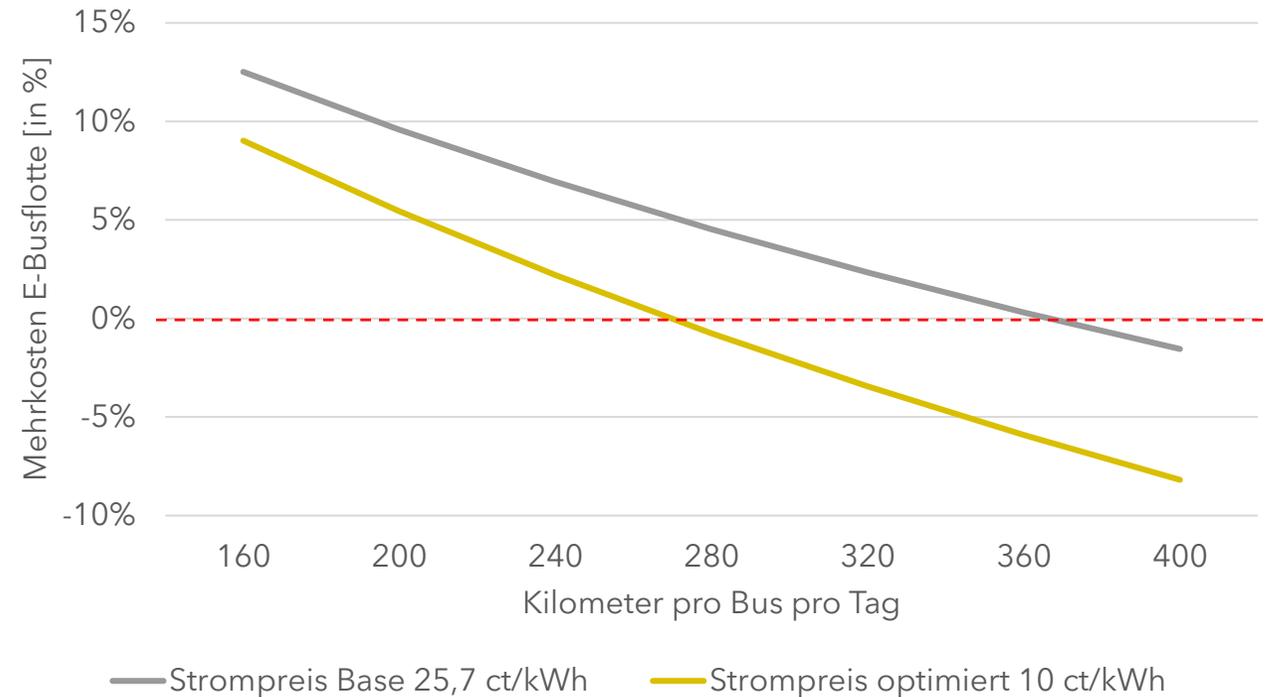
# 4. Gesamtkostenbetrachtung

## 4. Gesamtkostenbetrachtung

### ERGEBNISSE

- Bei einem Strompreis von 25,7 ct/kWh müssten alle Busse 365 km / Tag\* oder 80.000 km / Jahr fahren, um bei den Gesamtkosten über 10 Jahre unter den genannten Annahmen mit der Dieselflotte gleichzustehen.
- Bei einem Strompreis von 10 ct/kWh müssten alle Busse 270 km / Tag oder 60.000 km / Jahr fahren, um bei den Gesamtkosten über 10 Jahre unter den genannten Annahmen mit den Dieselflotten gleichzustehen.
- Ein durchschnittlicher Gesamtstrompreis von 10 ct/kWh kann am einfachsten in Gangkofen erreicht werden

TCO-Mehrkosten E-Flotte im Vgl. zur Dieselflotte in Abhängigkeit der täglichen Kilometeranzahl und nach Strompreis



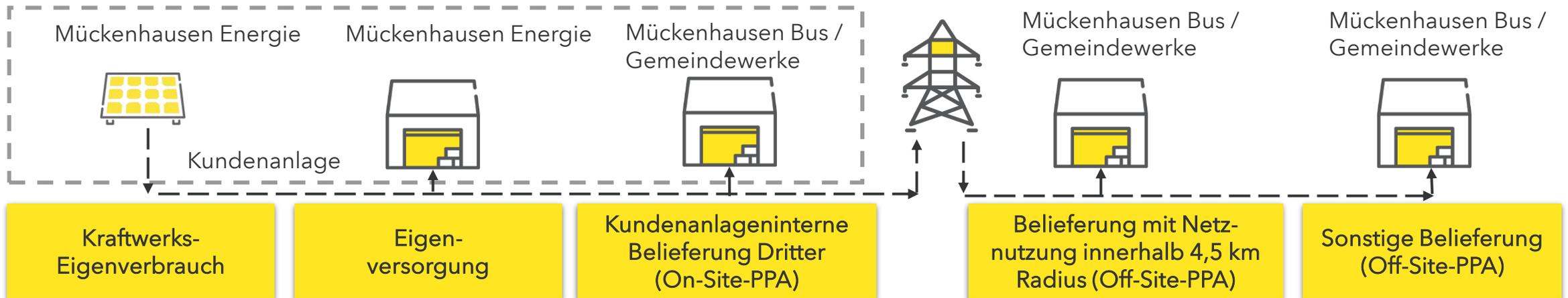


# 5. GRÜNSTROMNUTZUNG

# 5. Grünstromnutzung

## 5. Grünstromnutzung

### NUTZUNG DER ERNEUERBAREN ENERGIE VOR ORT UND STANDORTÜBERGREIFEND



Keine Abrechnung notwendig

Keine Netznutzungsentgelte  
Keine an Netzentgelte gekoppelten Umlagen

keine Stromsteuer (bis zu einem Radius von 4,5 km)\*

Durch PPAs kann Mückenhausen eigenerzeugte Energie standortübergreifend nutzen oder an die Gemeindewerke Gangkofen abgeben. Besonders interessant sind PPAs als Vermarktungsmodell für Post-EEG-Anlagen, Anlagen mit geringen EEG-Vergütungen, bei einer Direktleitung oder wenn der eigene grüne Strom an anderen Standorten genutzt werden soll.

# 5. Grünstromnutzung

## 5. Grünstromnutzung

### OFFSITE-PPA & BILANZKREISMANAGEMENT

- Ein Offsite-PPA erfordert ein Bilanzkreismanagement. Erzeuger und Verbraucher sind über einen Bilanzkreis miteinander verbunden, welcher in jeder ¼-Stunden-Messperiode ausgeglichen sein muss.
- Es ist also wichtig, dass das Erzeugungs- und Verbrauchsprofil zueinander passen. Durch Speicher auf Erzeuger und / oder Verbraucherseite sowie Lademanagement können Erzeuger- und Verbraucherlast einander zeitlich näher gebracht werden.
- Wenn es Abweichungen zwischen den fahrplanmäßigen und den realen Strommengen gibt, muss die Balance durch Ausgleichsenergie wiederhergestellt werden. Es muss ein Ausgleichsenergiepreis für jede Kilowattstunde gezahlt werden, mit der der Bilanzkreis über- oder unterspeist war.

# 5. Grünstromnutzung

## 5. Grünstromnutzung

### VOR- UND NACHTEILE BILANZKREISMANAGEMENT

#### Vorteile

- \_\_ Gesamtstrommenge einer EE-Anlage kann auf untersch. Standorte verteilt werden
- \_\_ Andere Standorte bekommen EE-Strom zum Offsite-PPA Preis und müssen den Strom nicht woanders kaufen

#### Nachteile

- \_\_ Bilanzkreis muss in jeder ¼ Stunde ausgeglichen sein
- \_\_ Hoher Verwaltungsaufwand
- \_\_ Strafzahlung bei Nichtausgleichen des Bilanzkreises
- \_\_ Hohes Level an Know-How erforderlich oder Kosten für Dienstleister

Für das Bilanzkreismanagement kann ein Dienstleister beauftragt werden. Dienstleister übernehmen u.a. Das komplette Bilanzkreismanagement, inkl. 15-minütigen Ausgleich, Rechtssicherheit, Begleitung bei der Anmeldung des Bilanzkreises.

# 5. Grünstromnutzung

## 5. Grünstromnutzung

### CORPORATE PPA ZUR STANDORTÜBERGREIFENDEN EE-NUTZUNG

- Stromliefervertrag zwischen **Stromerzeuger** (Mückenhausen Energie) und einem **Unternehmen als Endverbraucher** (Mückenhausen Busunternehmen).
- Je nach PPA-Lieferstruktur trägt der Erzeuger oder der Verbraucher die Verantwortung für energiewirtschaftlichen Dienstleistungen (Bilanzkreisverantwortung)
- **Pay-as-Produced** = Verbraucher trägt Bilanzkreisverantwortung (PPA-Preis günstiger, da Risiko für Abweichungen beim Verbraucher liegen)
- **Pay-as-Forcasted** = Erzeuger trägt Bilanzkreisverantwortung (PPA-Preis teurer, da Risiko für Abweichungen beim Verbraucher liegen)
- Unabhängig von der Lieferstruktur muss sich Mückenhausen in jedem Fall um die Abwicklung des Bilanzkreismanagements kümmern (da sie sowohl Erzeuger als auch Verbraucher sind). Es wird empfohlen einen Dienstleister für das Bilanzkreismanagement zu beauftragen. Mehrere Anlagen desselben Erzeugerunternehmens und mehrere Standorte desselben Abnehmerunternehmens können innerhalb desselben Bilanzkreises aggregiert werden.



# 5. Grünstromnutzung

## 5. Grünstromnutzung

### UTILITY PPA MIT DEN GEMEINWERKEN GANGKOFEN

- Stromliefervertrag zwischen dem **Stromerzeuger** und einem **Stromversorgungsunternehmen** (EVU, z.B. Gemeindewerke Gangkofen). Das EVU verkauft dann den Strom weiter an seine Kunden, die Endverbraucher.
- Immer mehr Kunden wollen echten Grünstrom - **Gemeindewerke** können ihr grünes Erzeugungsportfolio durch regionalen erneuerbaren Strom optimieren: Regionaler Strom aus Gangkofen für Gangkofen
- i. d. R. Übernahme aller energiewirtschaftlichen Dienstleistungen (Bilanzierung, etc.) durch EVU (hier z.B. Gemeindewerke Gangkofen)



# 6. FAZIT & HANDLUNGSEMPFEHLUNG

# 6. Fazit und Handlungsempfehlung

## 6. Fazit und Handlungsempfehlung

### AUSLEGUNG UND OPTIMIERUNG LADEINFRASTRUKTUR

- Da Mückenhausen so viel eigenerzeugte erneuerbare Energie wie möglich für die eigenen Verbraucher nutzen sollte, wird empfohlen Ladepunkte mit hoher Leistung ( $\geq 150$  kW) an allen Standorten zu nutzen, um das schnelle Laden zu günstigen Zeiten (während viel EE-Strom zur Verfügung steht) zu ermöglichen.
- Mittels Lademanagement sollte sichergestellt werden, dass so viel Energie wie möglich in Zeiten einer hohen PV-Stromerzeugung verladen wird (das Lademanagement erkennt beispielsweise, wenn keine Ladung nachts notwendig ist, da tagsüber für 1-2 Stunden schnellgeladen werden kann)
- Da der Großteil der Busse ausschließlich oder überwiegend nachts vor Ort ist (wenn kein PV-Strom erzeugt wird), werden Speicher zur Eigenverbrauchsoptimierung notwendig. Eine Nutzung von Speichern für mehrere Anwendungsfälle (Multi-Use-Speicher) kann deren Wirtschaftlichkeit verbessern. Ein Speicher kann z.B. auf den Multi-Use-Case Eigenverbrauchsoptimierung + Lastspitzenkappung während Hochlastzeiten eingestellt werden. (Atypische Netznutzung)
- Mit den Konzepten sollten Fördermittel beantragt werden.

# 6. Fazit und Handlungsempfehlung

## 6. Fazit und Handlungsempfehlung

### INTEGRATION VON SPEICHERSYSTEMEN

- Mittels **Speicher** kann sowohl der Autarkiegrad als auch der die Eigenverbrauchsquote stark **erhöht** werden
- Für eine Wirtschaftlichkeit des Speichers muss dieser ausgelastet sein, d.h. er sollte **möglichst viele Zyklen fahren** (Richtwert: 200 – 250 Zyklen pro Jahr). Der Speicher sollte bedarfsgerecht ausgelegt werden.
- Der **Autarkiegrad** und die **Eigenverbrauchsquote** sollten zuerst per **Lademanagement** erhöht werden (d.h. es sollte versucht werden so viel wie möglich tagsüber zu laden). Für die verbleibenden Ladevorgänge, die sich nicht in sonnenreiche Stunden verschieben lassen, sollten Speicher eingesetzt werden.
- Es wird empfohlen die **Speicherauslastung an den Pilotstandorten zu messen** und dann **modular Speicherkapazitäten aufzubauen**, sofern notwendig.

# 6. Fazit und Handlungsempfehlung

## 6. Fazit und Handlungsempfehlung

### NUTZUNG DER ERNEUERBAREN ENERGIE

- **Standortübergreifende Nutzung:** Erzeuger können mittels Off-Site PPA auch Strom an Verbraucher an anderen Standorten liefern. Dazu werden Erzeuger und Verbraucher mittels eines **Bilanzkreises** miteinander verbunden. Aufgrund der Komplexität und des hohen erforderlichen Know-Hows wird die **Auslagerung des Bilanzkreismanagements** an einen **externen Dienstleister** empfohlen.
- **Belieferung der Gemeindewerke Gangkofen:** Mückenhausen sollte für die PV-Anlagen in Gangkofen ein **Utility PPA mit den Gemeindewerken Gangkofen** abschließen. Die Gemeindewerke leiten den Strom dann an ihre Endverbraucher weiter. Die Gemeindewerke könnten damit **echten regionalen Grünstrom** für ihre Kunden bereitstellen.

# Ihre Ansprechpartner

---



**Hanna Full**  
Senior Consultant  
Mobil: +49 160 95 83 31 01  
E-Mail: h.full@gp-joule.de



**Dag Rüdiger**  
Abteilungsleiter  
Mobil: +49 1748827061  
E-Mail: d.ruediger@gp-joule.de



**Jan Lukas Hillendahl**  
Consultant  
Mobil: +49 160 902 597 31  
E-Mail: j.hillendahl@gp-joule.de



**Katharina Sailer**  
Senior Consultant  
Mobil: +49 15161420018  
E-Mail: k.sailer@gp-joule.de

---

GP JOULE Consult GmbH & Co. KG

Maierhof 1 • 86647 Buttenwiesen  
[www.gp-joule.de](http://www.gp-joule.de)