

Ausbau des Stromnetzes unter dem Aspekt Sektorenkopplung

Klaus Mertel | Stuttgart, 04.07.2024

Themenübersicht

- 1. Erneuerbare Energien u. die Anforderungen an das Stromnetz**
- 2. Netzoptimierung, Netzverstärkung und Netzausbau**
- 3. Sektorenkopplung**
- 4. Das zukünftige Energiesystem**
- 5. Sektorenkopplung anhand des Bsp. Landratsamt Ludwigsburg**



1

Erneuerbare Energien und die Anforderungen an das Stromnetz



Das gewachsene Stromnetz/ Spannungsebenen

Das Stromnetz ist über einen Zeitraum von etwa 130 Jahren mit seinen Anforderungen gewachsen. Beim Transport elektrischer Energie entstehen immer Verluste. Diese steigen mit den Stromstärken. Daher sind bei der Übertragung über weitere Strecken hohe Spannungen vorteilhafter, da die Stromstärken und somit die Verluste geringer sind. Der Nachteil hoher Spannungen besteht darin, dass sie für Personen gefährlicher sind und einen höheren Aufwand für Isolation und Schutzeinrichtungen bedürfen. Das Stromnetz wird in Übertragungs- und Verteilnetz unterschieden.

Folgende Netzspannungen sind dabei üblich:

Übertragungsnetz/ Höchstspannung

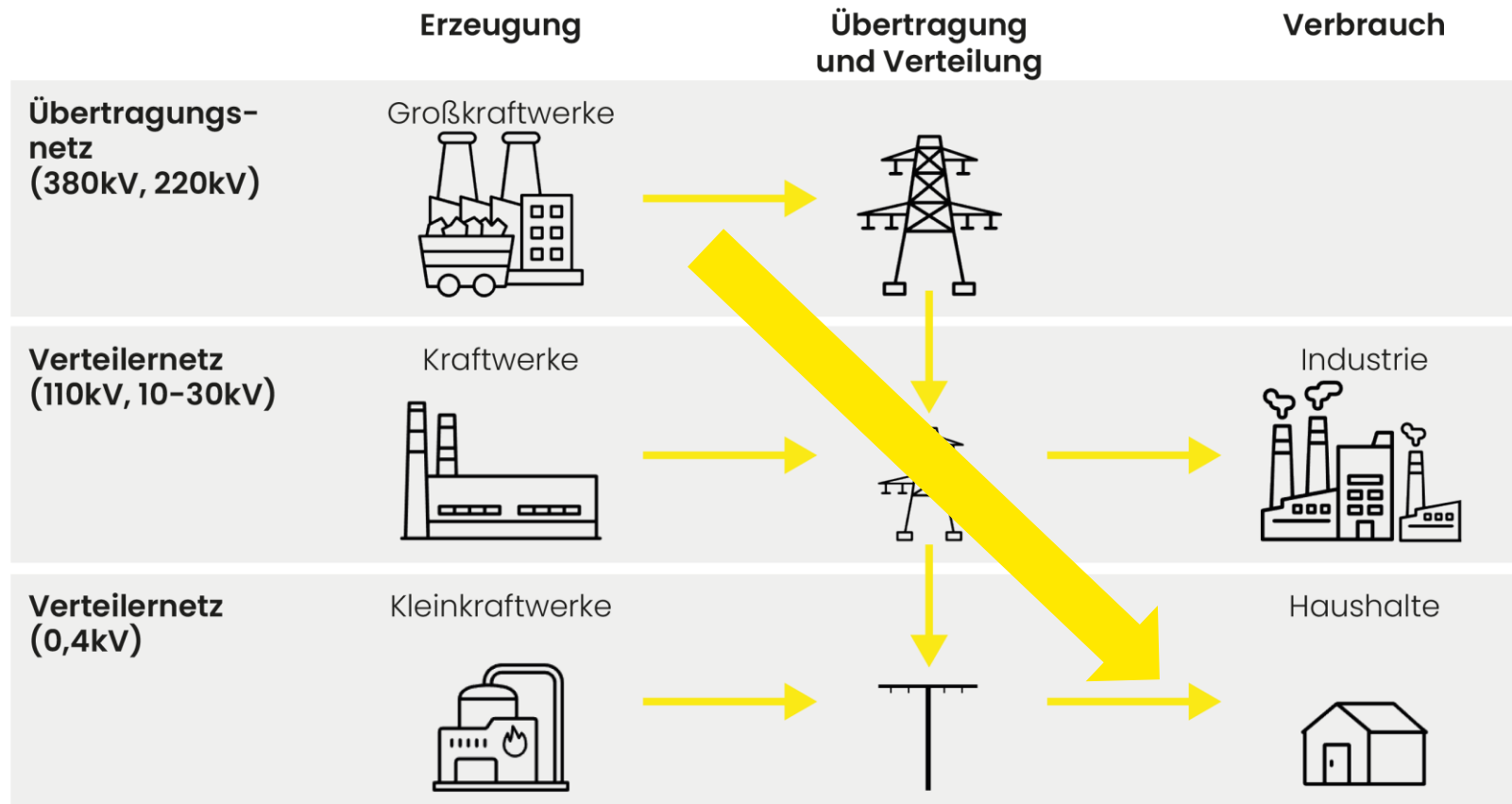
- > 110.000 Volt d.h. 220.000 und 380.000 Volt, aber auch Gleichstromverbindungen mit noch höheren Spannungen

Verteilnetz

- Bis Hochspannung 110.000 Volt
- Mittelspannung 10.000 bis 30.000 Volt
- Niederspannung 400 Volt



Stromnetz - historisch



Die Stromflussrichtung war bisher klar definiert von den Großkraftwerken über die Übertragungs- und Verteilnetze hin zu den Verbrauchern. Die Anzahl der Stromerzeuger war gering, die Erzeugungsleistungen groß.



Anforderungen an das Energiesystem der Zukunft

Durch den **Ausbau der erneuerbaren Energien** und die **Elektrifizierung von Verkehr (E-Mobilität) und Wärme** kommen weitere Erzeuger und Verbraucher auf das Stromnetz zu. Dabei haben sowohl die Verbraucher, als auch die Erzeuger **deutlich erhöhte Leistungswerte**. Die Energiesysteme der Zukunft müssen in der Lage sein, **mehr Strom bei deutlich höherem Leistungsbedarf** zu transportieren. **Das selbst dann, wenn infolge der sogenannten Dunkelflaute, die Erneuerbaren Energien Fotovoltaik und Windkraft gänzlich wegfallen.** Erschwerend kommen zu Zeiten des höchsten Heizwärmebedarfs auch noch direktelektrische Heizstäbe, die zur Unterstützung von Wärmepumpen eingesetzt werden, dazu. **Aber auch auf im Einspeisefall (Photovoltaik) können sich die angeschlossenen Erzeuger so weit addieren, dass es zu Überlastung des Netzes kommt.**

Die Stromnetze müssen zukünftig alle Betriebszustände abdecken können. Vereinfachend könnte man von einem Lastfall Sommer – maximale örtliche Einspeisung – und einem Lastfall Winter – maximaler örtlicher Strombezug – sprechen.



Anforderungen an das Energiesystem der Zukunft: Es muss ALLES können

Problematik im Sommer:

Stromüberangebot / Überwiegend dezentrale Stromerzeugung / Überlastung der Netze durch Einspeisung

Folge: örtliche Überspannung

- Stromüberschuss/ Örtlich und zeitliches Überangebot an Strom aus erneuerbaren Energien/schnell wechselnde Randbedingungen
- Herunterregeln/Abschalten der Erzeugerleistungen durch den Netzbetreiber (Redispatch-Maßnahmen) oder ein selbstständiges Abregeln der Erzeugeranlagen
- Ist die Netzkapazität ausgeschöpft, bleibt dem Netzbetreiber nur die Anschlussverweigerung neuer (PV-) Anlagen. Ein Kompromiss wäre die sogenannte „Nulleinspeisung“.

Problematik im Winter: Strommangel

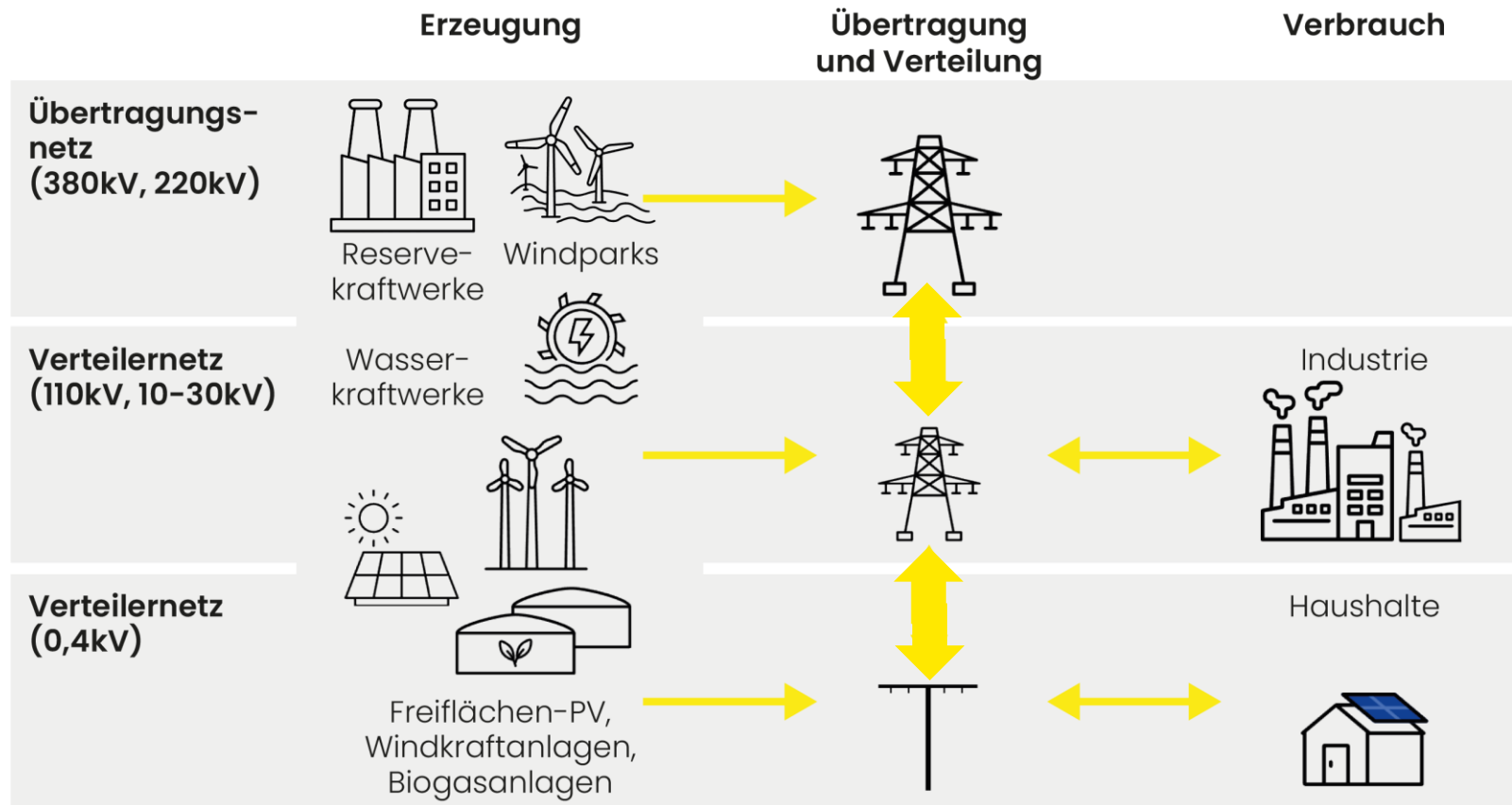
Hoher Anteil an zentraler Stromerzeugung / Überlastung der Netze durch Stromverbrauch

Folge: Spannungsabfall, Frequenzabfall

- Genereller Strommangel aus erneuerbaren Energien PV
- Eingriffe durch Regelkraftwerke (Redispatch-Maßnahmen)
- Erhöhter (Leistungs-)Bedarf durch E-Mobilität, Wärmepumpen, Heizstäbe an besonders kalten Tagen.



Stromnetz - zukünftig



Durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien erfolgt die Stromeinspeisung auf nahezu allen Spannungsebenen an einer Vielzahl von Einspeisepunkten. Je nach Tages- bzw. Jahreszeit und nach Witterung kann es dabei zu sehr unterschiedlichen Randbedingungen in den Netzen kommen. Die Stromflussrichtung kann sowohl in die eine als auch andere Richtung stattfinden und kann örtlich auch NULL sein.

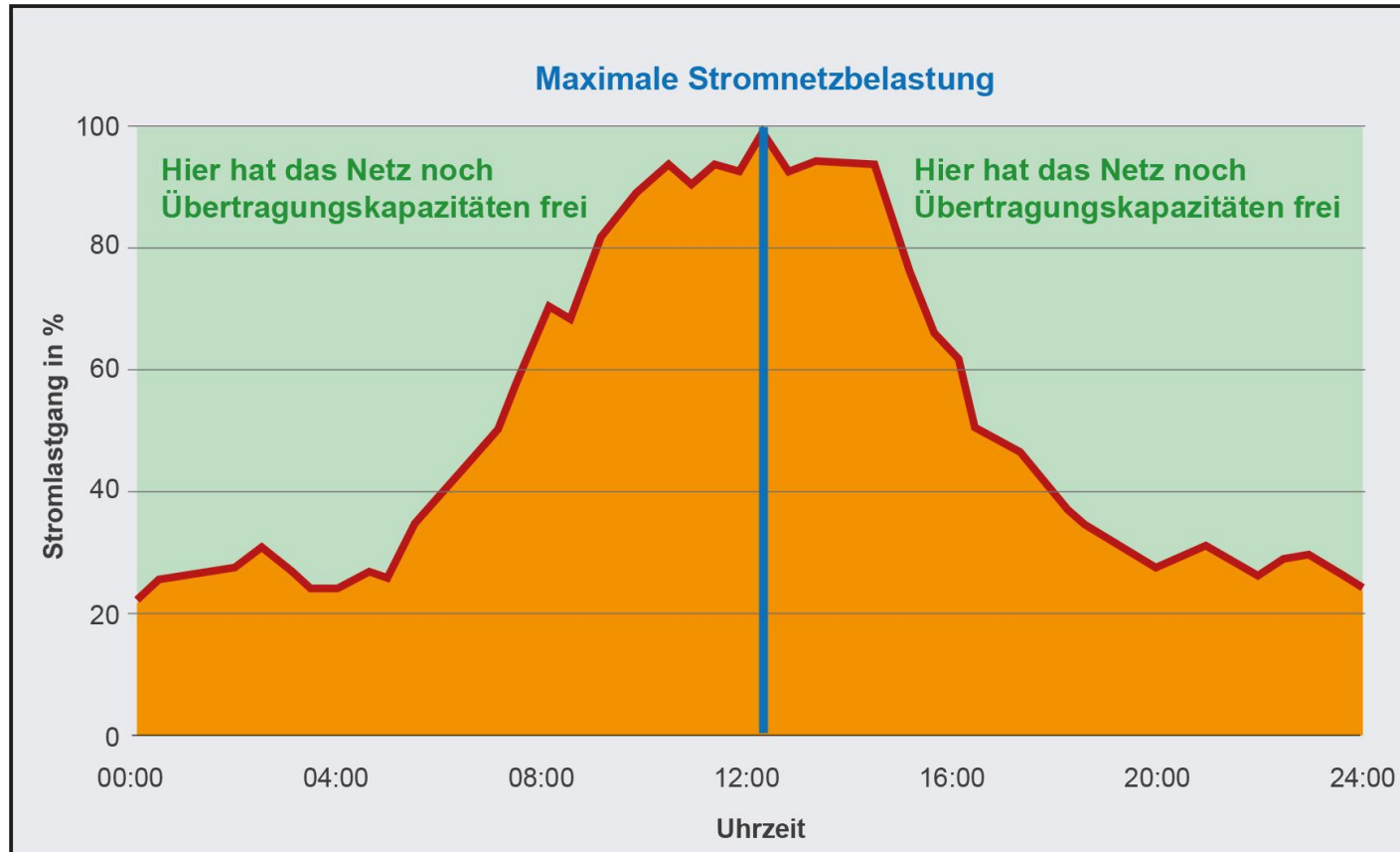


2

Netzoptimierung, Netzverstärkung und Netzausbau



Beispielhafter Lastgang über einen Tag



Das Stromnetz wird tageszeitlich unterschiedlich stark belastet. Ausgelegt ist es so, dass es die maximale Stromstärke zuzüglich Sicherheiten abdecken kann. Unterhalb dieser Auslegungsleistung hat das Netz noch Übertragungskapazitäten frei. Gelingt es, zusätzliche Verbraucher zeitlich so zu steuern, dass sie außerhalb der Zeit der Maximalleistung laufen, wird das Stromnetz nicht zusätzlich belastet. Ein Ausbau ist dann nicht erforderlich.



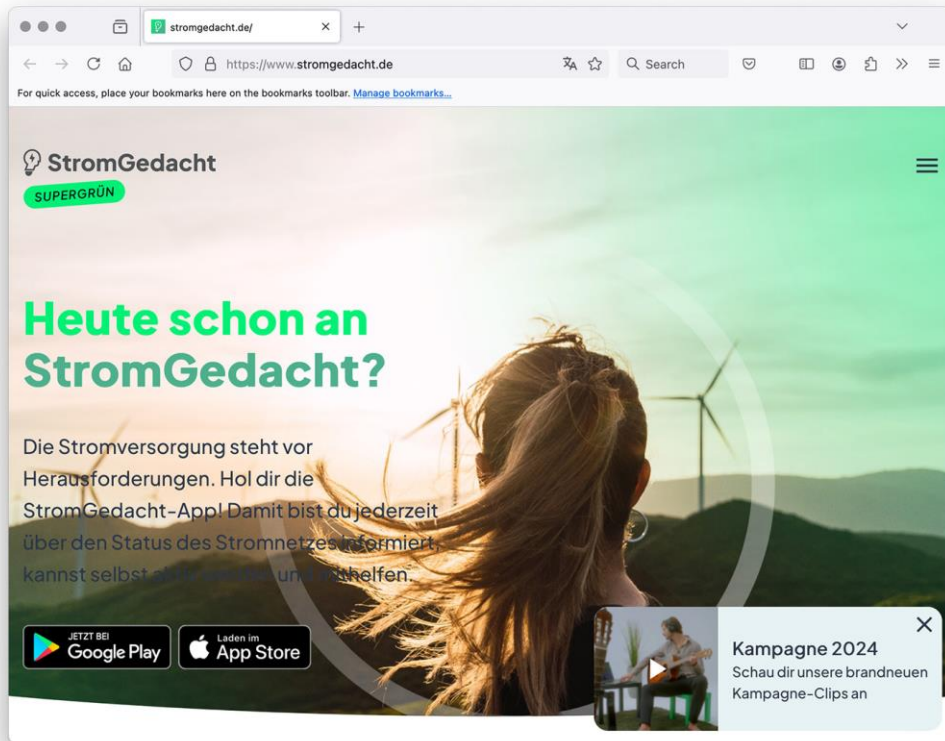
Netzoptimierung (MEHR FLEXIBILITÄT)

Darunter **fallen Maßnahmen, die geeignet sind, das vorhandene Stromnetz besser auszunutzen**, ohne weitere technische Maßnahmen am Netz direkt zu ergreifen. Diese Maßnahmen können sowohl vom Verbraucher/Einspeiser, als auch vom Netzbetreiber ausgeführt werden.

- Flexible Stromtarife. Über flexible Stromtarife können Anreize zu geschaffen werden, um den Stromverbrauch geeigneter Geräte in Zeiten zu verschieben, in denen das Netz weniger stark belastet ist.
- Einspeise-/ Verbrauchsmanagement durch den Betreiber der Energieanlagen
- Ggfs. Einsatz von Batteriespeichern um örtliche Lastspitzen oder Überschüsse in Schwachlastzeiten zu verschieben
- Zeitliche Steuerung von Erzeugern/ Verbrauchern (Ladeinfarstruktur, bis zu einem gewissen Grad Wärmepumpen, etc)
- Netzeingriffe auf der Erzeuger- als auch der Verbrauchsseite durch den Netzbetreiber (Redispatch Maßnahmen)



StromGedacht ein Angebot der TransnetBW GmbH



StromGedacht ist eine App, die darüber informiert, wann es sinnvoll ist, Strom zu verbrauchen. Das hilft die erneuerbaren Energien möglichst effizient zu nutzen und dabei die Stromnetze zu entlasten. So kann jeder seinen Beitrag zur Energiewende leisten.

<https://www.stromgedacht.de/>



Netzverstärkung (MEHR AMPERE)

Netzverstärkung sind möglichst geringe Eingriffe und kostengünstige Maßnahmen

Diese Maßnahmen können nur vom Netzbetreiber durchgeführt werden

- Einsetzen stärkerer Sicherungen. Nur möglich, wenn das Gesamtsystem noch Reserven hat
- Örtlicher Austausch der Transformatoren gegen leistungstärkere Einheiten. Nur möglich, wenn der Trafo das Nadelöhr ist und die angeschlossenen Zu- oder Abgangsleitungen noch Kapazitäten haben
- Austausch von Leiterseilen an Freileitungstrassen / Leitungen in Trassen
- So genannte "Zubeseilung" d.h. Auflegen neuer Seile auf vorhandenen Masten in bestehenden Trassen
- Einsatz von Hochtemperatur Leiterseilen, die für den Betrieb höherer Temperaturen geeignet sind



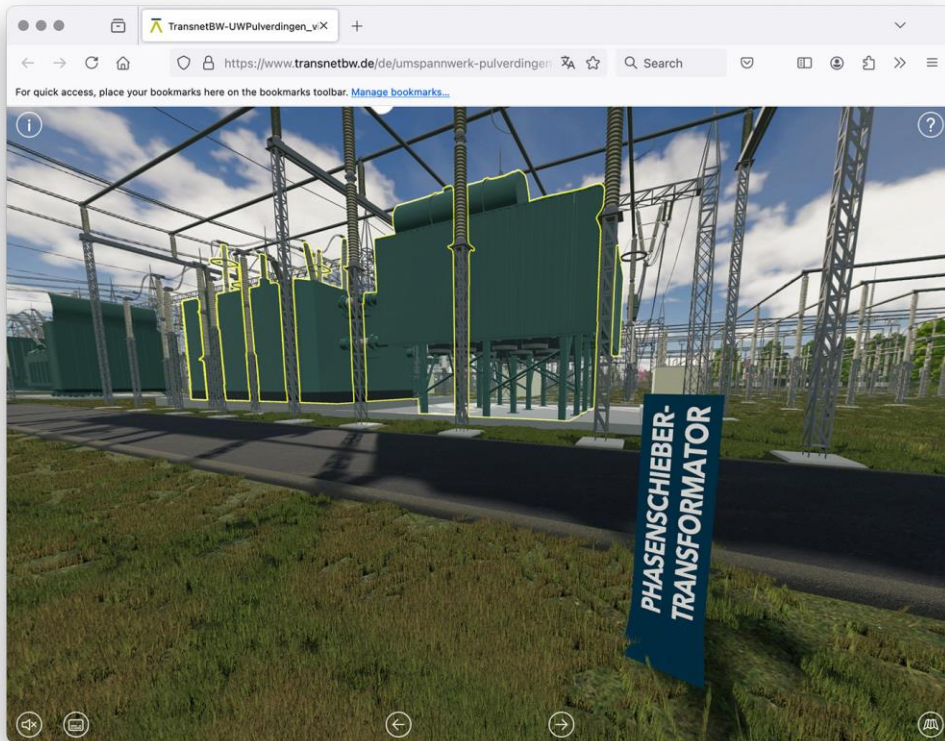
Netzausbau (MEHR BETON, STAHL und KUPFER)

- Bau von neuen Umspannwerken, Ortsnetzstationen (Trafos mit Schaltanlagen) sowie Stromtrassen/Stromleitungen auf allen Spannungsebenen
- Wenn Ausbau, dann effizient, z.B. Bündelung von neuen EE-Anlagen Wind und PV, da eine geringe Gleichzeitigkeit

Ein besonders beeindruckendes Beispiel der Modernisierung und des Ausbaus eines Umspannwerks, ist das Umspannwerk in Pulverdingen



Umspannwerk Pulverdingen



In Pulverdingen im Landkreis Ludwigsburg betreiben TransnetBW und Netze BW bereits seit vielen Jahren ein Umspannwerk auf der Höchstspannungsebene von 380.000 Volt. Die Anlage wird nach fast 50 Jahren Betriebsdauer auf den neuesten Stand gebracht und dabei erweitert.

Auf den folgenden Seiten erfahren Sie mehr darüber:

<https://www.transnetbw.de/de/umspannwerk-pulverdingen-virtueller-rundgang>



3

Stromerzeugung und Sektorenkopplung



Stromerzeugung und Sektorenkopplung

Bei der **Umwandlung von Energie entstehen immer Verluste**. Je nach verwendeter Energiequelle und Technik ergeben sich unterschiedliche Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung: Die **höchsten Wirkungsgrade von 80 – 90 % haben Turbinen, die von der Wasserkraft – also direkt – angetrieben werden**. Sie benötigen keine weitere Energie, um die nötige Antriebsleistung zu erzeugen. Die Wasserkraft als erneuerbare Energie ist aber schon seit je her wirtschaftlich. Das Potential ist daher weitgehend ausgeschöpft.

Bei **modernen konventionellen Wärmekraftwerken** wie Kohle oder Gas liegen die Wirkungsgrade bei **maximal 50 bis 60 %**. Steinkohlekraftwerke aber auch Braunkohlekraftwerke liegen deutlich darunter. Beim Prozess der Stromerzeugung handelt es sich um einen thermodynamischen Vorgang, dabei gibt es immer auch Verluste, die in Form von Abwärme anfallen. Daran wird auch ein Umstieg auf Wasserstoff nichts ändern. Die Abwärme wird häufig ungenutzt in Kühltürmen an die Umwelt abgegeben. Wird die Abwärme ausgekoppelt und genutzt, spricht man von der **Kraftwärme-Kopplung**.



Sektorenkopplung

Die Energiewende ist maßgeblich eine „Stromwende“. Die Bereiche Wärme und Mobilität/Verkehr, die sogenannten Sektoren sind aktuell geprägt von fossilen Energieträgern. Das soll sich durch Elektrifizierung ändern. Strom ist flexibel einsetzbar und erneuerbar zu gewinnen. **Da der Strom zum maßgeblichen Energieträger für die Sektoren Wärme und Mobilität herangezogen wird, spricht man von der sogenannten „Sektorenkopplung“.** Die Sektorenkopplung spielt dabei eine entscheidende Rolle, da die Bedeutung von Strom mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien deutlich zunehmen wird. Die fossilen Energieträger, werden an Bedeutung verlieren.



Sektorenkopplung Strom/Wärme (Heizwärme)

Die erste Form der Kopplung zwischen Strom und Wärme findet bereits bei der Stromerzeugung in Kraftwerken statt. Wird das anfallende Abfallprodukt – **die Abwärme** – **genutzt, spricht man von der sogenannten Kraft-Wärme-Kopplung**. Diese Wärme muss nicht zusätzlich in Heizkesseln erzeugt werden. Der Brennstoff wird dadurch nahezu vollständig genutzt. **Damit lassen sich Wirkungsgrade von rund 90 % erreichen**. Aus Sicht der Energieeffizienz spielt es keine Rolle, ob der Strom in Heizkraftwerken aus fossilen, oder erneuerbaren Energien erzeugt wird. Die Abwärme fällt in beiden Fällen an und bietet ein großes Potenzial bei der Wärmeversorgung. Da im Rahmen der Wärmewende ein deutlicher Ausbau der Wärmenetze erfolgen soll, bietet sich der gleichzeitige Bau von dezentralen Stromerzeugungseinheiten förmlich an.

Die nächste Form der Kopplung zwischen Strom und Wärme ist die Verwendung von Strom als Antrieb von Wärmepumpen. Der Effizienzgewinn liegt darin, dass mit einer Kilowattstunde Strom etwa 3 bis 4 Kilowattstunden Wärme erzeugt werden können.



Sektorenkopplung Strom/Verkehr (E-Mobilität)

Die Sektorenkopplung zwischen Strom und dem Sektor Verkehr (E-Mobilität) findet dahingehend statt, dass der Antrieb von Fahrzeugen aller Art vom Verbrennungsmotor auf Elektroantrieb umgerüstet wird.

Fazit:

Im Rahmen der Energiewende sollen die Sektoren Wärmeversorgung und Mobilität/Verkehr in hohem Maße elektrifiziert werden, d.h. die Sektorenkopplung spielt dabei eine entscheidende Rolle, da die Bedeutung von Strom mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien deutlich zunehmen wird.

Die Vernetzung dieser 3 Sektoren, d.h. die Sektorenkopplung, eröffnet dabei die Möglichkeit der Nutzung von Synergieeffekten bei erheblichen Effizienzsteigerungen.

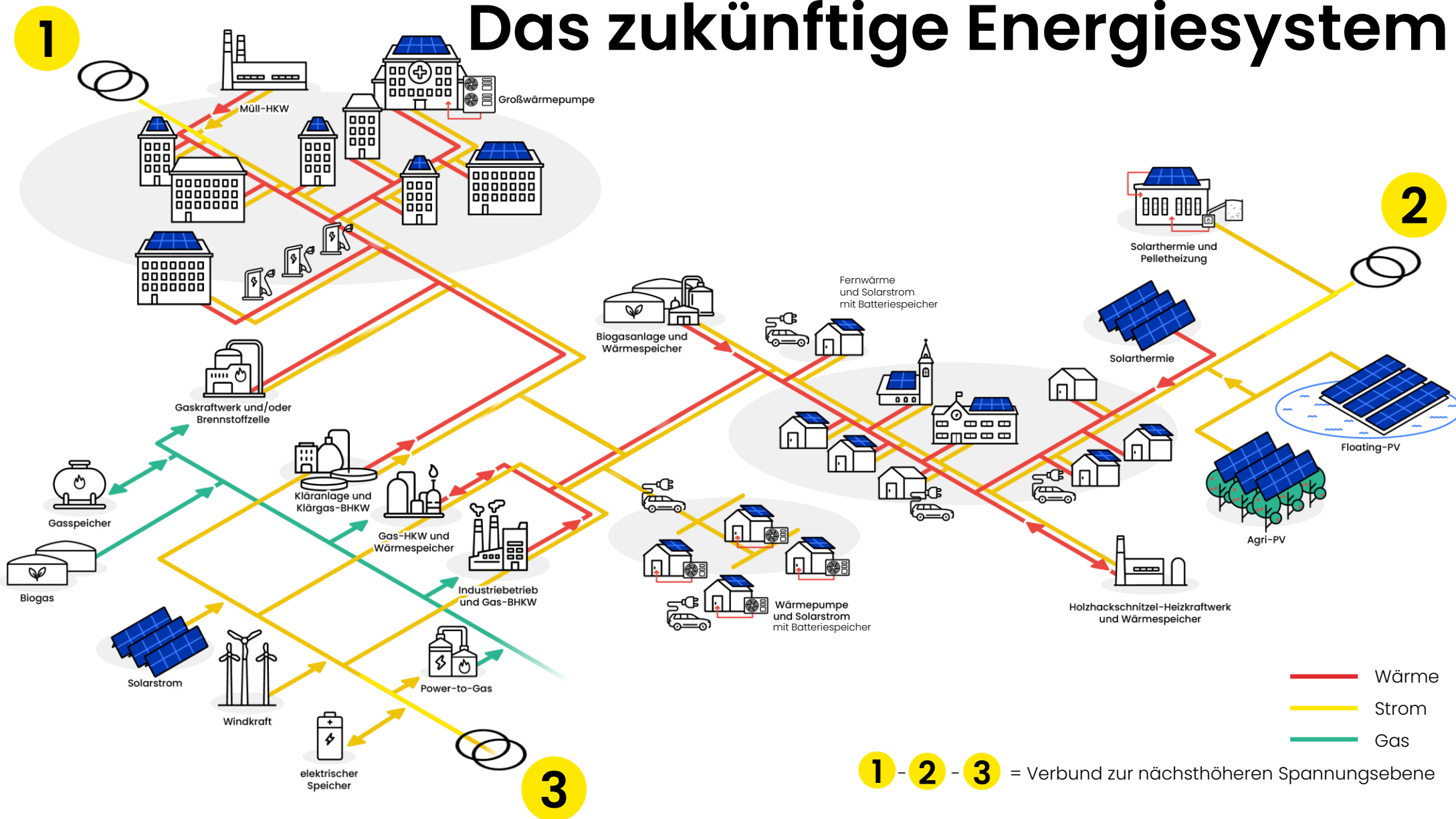


4

Das zukünftige Energiesystem



Das zukünftige Energiesystem



Das Energiesystem der Zukunft

Betrachtet wird ein gedachtes, beliebiges in sich abgeschlossenes Energiesystem auf der Verteilnetzebene. Der Verbund zur nächsthöheren Spannungsebene erfolgt an den Verknüpfungspunkten 1, 2 und 3. Innerhalb dieses Systems sind in einem ausgewogenen Verhältnis Verbraucher und Erzeuger angeschlossen. Es gibt zahlreiche EE-Anlagen zur Stromerzeugung, die sich nicht regeln lassen (außer Abregeln), aber auch Kraftwerke, die in der Lage sind, Regelenergie zu liefern und im Winter und bei Dunkelflauten einzuspringen.

Gelingt es, innerhalb dieses Systems Randbedingungen zu schaffen, bei denen der Verbrauch und die Erzeugung weitgehend im Gleichgewicht sind, so gehen die Ströme an den Verknüpfungspunkten 1, 2 und 3 gegen NULL. Die vorgelagerten Stromnetze werden dadurch entlastet. Ein weiterer Ausbau ist dann nicht mehr nötig. Durch die Entlastung im betrachteten System, werden im vorgelagerten Netz sogar noch Kapazitäten frei.



Das Energiesystem der Zukunft

Dezentrale Erzeugerstrukturen

Die erneuerbaren Energien wie insbesondere Wind und PV, sind keine netzdienlichen Anlagen, d. heißt sie können das Stromnetz weder alleine aufrecht erhalten und im Zweifelsfall auch nicht stabilisieren oder gar stützen.

Dazu sind netzdienliche Anlagen, bzw. Regelkraftwerke erforderlich. Diese können auch mit erneuerbaren Energien in gespeicherter Form betrieben werden (z.B. Biogas, Holzhackschnitzel, Wasserstoff).

Diese Erzeugereinheiten sollten möglichst im räumlichen Zusammenhang mit den Erneuerbaren Energien gebaut werden.

Durch den räumlichen Zusammenhang der Erneuerbaren Energien und der Regelkraftwerke, unterscheiden sich die Anforderungen an das Stromnetz im Winter nicht elementar vom Sommer. Dadurch kann die Effizienz gesteigert und der Netzausbau auf das Notwendige reduziert werden.



Das zukünftige Energiesystem

Der maximale Strombedarf innerhalb eines Systems muss mit netzdienlichen Stromerzeugungsanlagen abgesichert sein. Die maximale Erzeugungsleistung von PV und Wind kann/soll dabei erheblich darüber hinaus gehen, wenn gewährleistet ist, dass diese Anlagen entweder abgeriegelt werden können oder der Überschussstrom direkt vor Ort genutzt wird. Das könnte durch Sektorenkopplung in den Sektor Wärme mittels Heizstäben erfolgen, um Wärmenetze im Sommer auf Temperatur zu halten, oder die Kopplung mit dem Sektor Verkehr durch Abgabe des Überschussstrom in die Fahrzeuge.

Netzdienliche Stromerzeugungsanlagen

- Biogas-, Klärgas-, Holzhackschnitzel-, Erdgas-, Wasserstoff-, KWK-Anlagen
- Erdgas-, Wasserstoff- Brennstoffzellen
- Müll- Heizkraftwerke
- Gas- Regelkraftwerke

Netzdienliche Verbraucher

- Batteriespeicher
- Ladeinfrastruktur
- Wärmepumpen und Heizstäbe (nur kurzfristig)



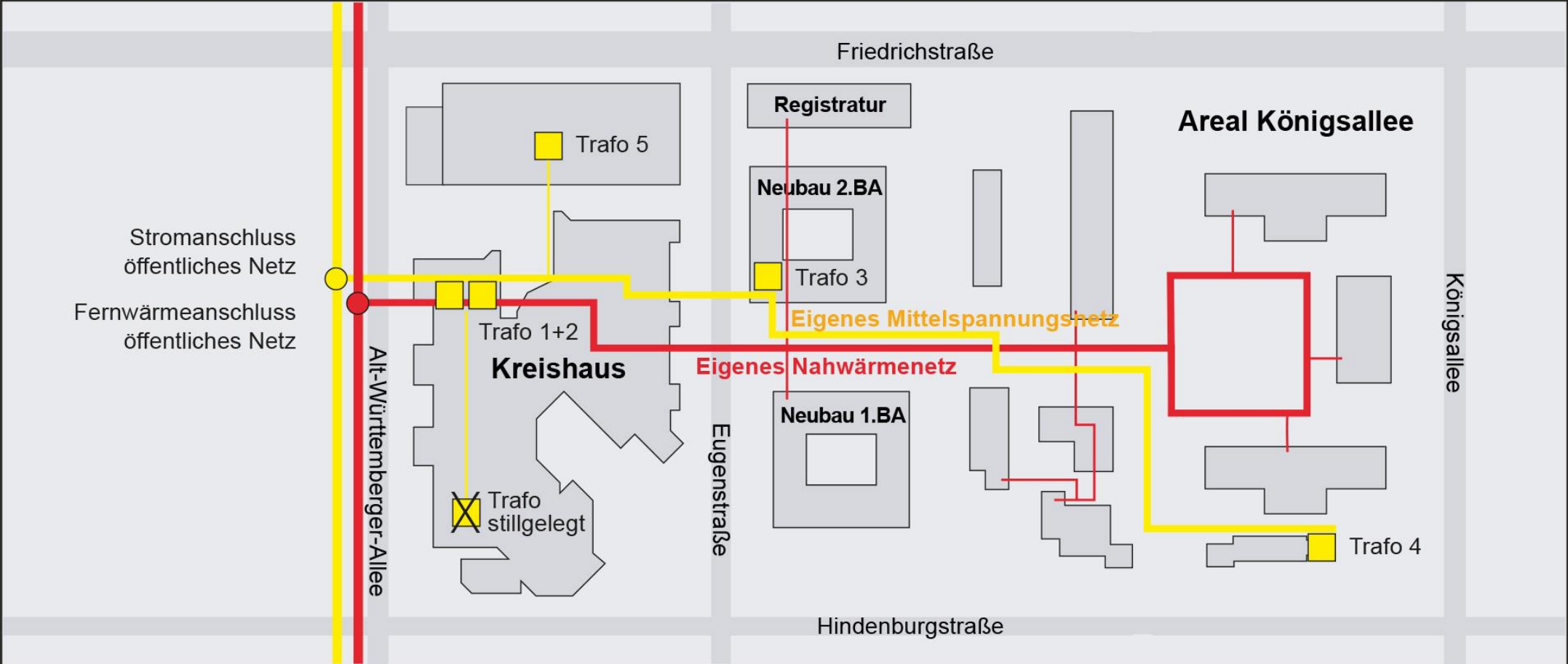
5

Sektorenkopplung anhand des Beispiels Landratsamt Ludwigsburg





Quartier Landratsamt Ludwigsburg



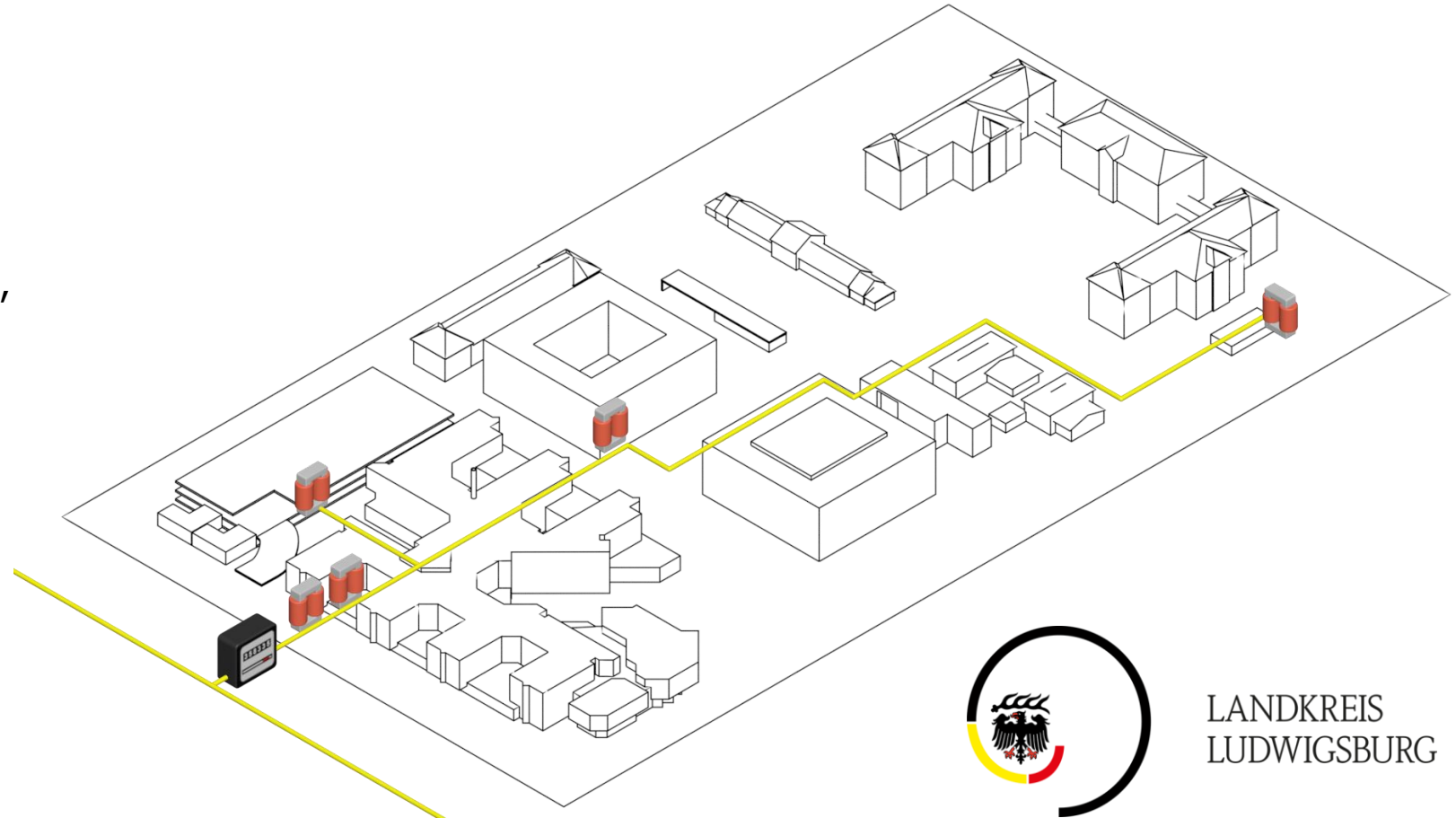
Zahlen und Fakten

- Bruttogrundfläche: **66.477 m²**
- Stromverbrauch 2023: **1.803 MWh** (ohne E-Mobilität)
- Strom E-Mobilität 2023: **53 MWh**
- Spitzenstrombezug: **550 KW**
- Eigenstromerzeugung 2024: **PV 600 KW_p + BHKW 100 KW_{el}**
- Wärmeverbrauch 2023: **ca. 3.000 MWh** (unbereinigt)
- Wärmeerzeuger: **Fernwärme/BHKW** (Spitzenlastkessel Erdgas 23/24 nicht in Betrieb)
- Ladepunkte E-Mobilität: **200 + ein Hypercharger**
- **Maßnahme in 2025:** Batteriespeicher aus Second Live Batterien 1 MWh
- **Maßnahme bis 2026:** Ausbau Photovoltaik auf eine Erzeugerleistung von insgesamt 950 KW



Aufbau eigenes Mittelspannungsnetz Quartier, 2017

- Rückbau zahlreicher Niederspannungsanschlüsse
- Aufbau Mittelspannungsnetz, 3 zusätzliche Trafos (insgesamt 5 Trafos)

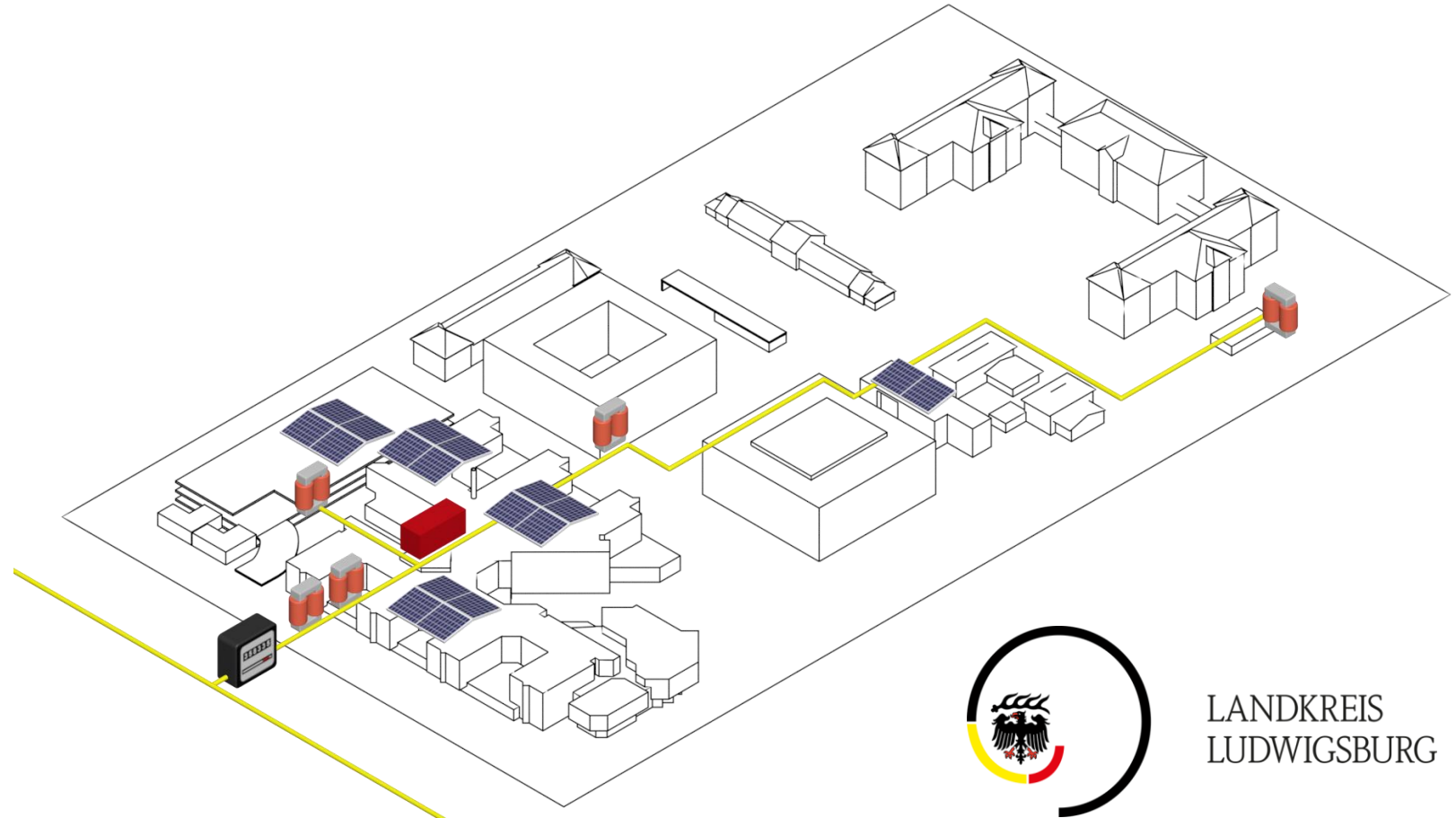


LANDKREIS
LUDWIGSBURG



Aufbau eigene Stromerzeugung seit 2003

- PV-Anlagen:
Summe: 600 kW_p
- BHKW:
seit 2003: 50 kW_{el}
ab 2023: 100 kW_{el}



LANDKREIS
LUDWIGSBURG



Strategie des Landratsamt Ludwigsburg in Sachen Eigenenergieerzeugung

Die Strategie des Landratsamt Ludwigsburg in Sachen Eigenenergieerzeugung beinhaltet folgende Hierarchie hinsichtlich des Verbrauchs:

- Eigenstromverbrauch in der Gebäudewirtschaft
 - Vor Stromabgabe an Sektor Mobilität (Parken und Laden)
 - Vor Speicherung im Batteriespeicher
 - Vor Stromabgabe an Sektor Wärme (Heizstäbe ins eigene Nahwärmenetz)
 - Vor Rückspeisung ins öffentliche Stromnetz

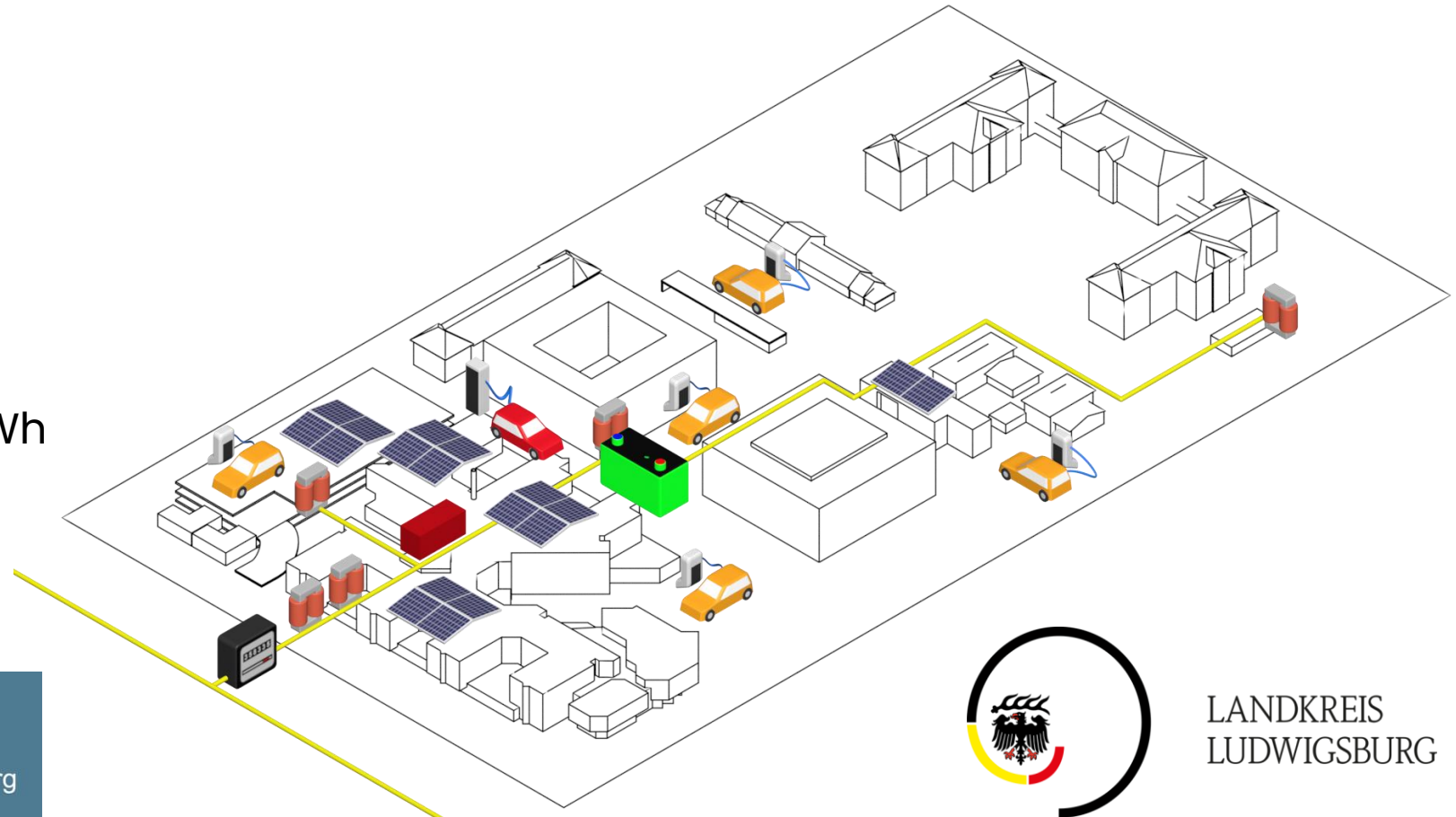
Fazit:

Durch die dezentrale Stromerzeugung und Verbrauch, sowie der Sektorenkopplung Strom/Wärme/Mobilität direkt vor Ort, werden die umliegenden Stromnetze, insbesondere auf der Niederspannungsseite entlastet. Die eingesetzte Primärenergie wird möglichst vollständig genutzt.



Aufbau eigener und öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur 2019 - 2023

- Ladepunkte:
186 x 3,7 KW
2 x 11 KW
12 x 22 KW
- Hypercharger:
1 x 150 KW
- Batteriespeicher 1 MWh
(in Realisierung)



LINOx BW

Ladeinfrastruktur für Baden-Württemberg



LANDKREIS
LUDWIGSBURG

Parken und Laden

Das Landratsamt Ludwigsburg hat an seinem Hauptsitz eine leistungsfähige Energieinfrastruktur mit zahlreichen eigenen Stromerzeugungsanlagen und zwei Parkanlagen mit insgesamt 147 Parkplätzen für Besucher. Dieser sogenannte Verwaltungscampus liegt im innerstädtischen Bereich, wo sowohl Parkmöglichkeiten, als auch Ladeinfrastruktur knapp sind.

Die öffentlichen Bereiche der Parkhäuser lagen außerhalb der Betriebszeiten des Landratsamts brach. Seit 2024 sind sie rund um die Uhr zur allgemeinen Nutzung frei gegeben. Jeder der Parkplätze hat eine Wallbox mit einer Leistung von 3,7 KW. Bezahlt werden müssen nur die Parkgebühren, **das Laden ist kostenlos**. Dieses Angebot können sowohl Besucher, Anlieger aus dem umliegenden Geschosswohnungsbau, als auch Mitarbeiter nutzen.





Parken und Laden

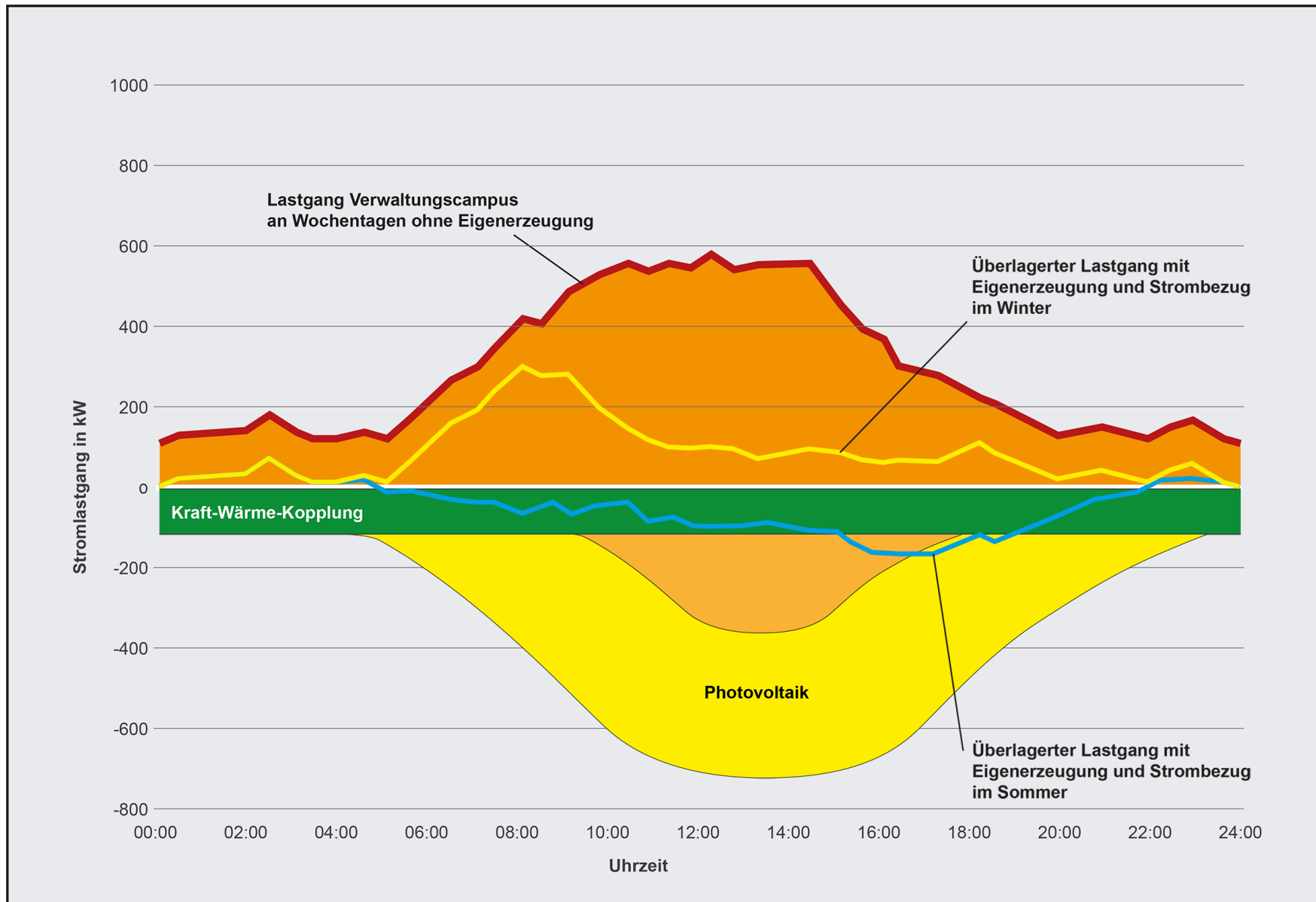


Sektorenkopplung Strom/Mobilität

Parken und Laden

- Die PV-Anlagen werden aufgrund der geeigneten Dachflächen über die maximale Strombedarfsleistung hinaus dimensioniert (maximale Einspeiselleistung 950 KW)
- Zukünftige Abschaltungen im Sommer durch Redispatch Maßnahmen sollen vermieden werden.
- Aufgrund der umliegenden Gebäudestruktur (Geschosswohnungsbau) werden nicht alle Anwohner und Anwohnerinnen eine eigene Lademöglichkeit für ein E-Fahrzeug haben können.
- Die vorhandene Elektro- und Parkinfrastruktur des Landratsamt Ludwigsburg wird mit der Allgemeinheit geteilt und dadurch effizienter genutzt.
- Der laufende Betrieb verursacht keinen zusätzlichen Betreuungs- und Personalaufwand, da die Abrechnung komplett über das vorhandene Parkgebührensysteem erfolgt.
- Die gesamte E-Ladeinfrastruktur ist an das landkreiseigene Mittelspannungsnetz (10.000 Volt) angeschlossen. Hier werden vorhandene Reserven genutzt.
- Der überwiegend in PV-Anlagen erzeugte Strom wird direkt vor Ort verbraucht. Damit werden die vorgelagerten Netze entlastet, Leitungs- und Transformationsverluste entfallen.





5

Zusammenfassung und Ausblick



Um alle Anforderungen an die zukünftigen Stromnetze abdecken zu können, sind erhebliche Anstrengungen erforderlich. Der alleinige Ausbau der Netze durch mehr Beton, Kupfer und Stahl, wäre wirtschaftlich nicht sinnvoll und auch nicht in einem angemessenen Zeitrahmen leistbar. Um den Ausbau der Netze auf das notwendige Maß zu begrenzen, sind daher flankierende Maßnahmen nötig und alle Akteure gefordert. Auch der Endverbraucher kann mit seinem Nutzerverhalten einen wichtigen Beitrag leisten (siehe StromGedacht)

- **Der kostbarste Stromnetzausbau ist der vermiedene Ausbau**
- **Der unvermeidbare Stromnetzausbau ist Herausforderung genug**



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Die Energie- und Mobilitätswende hat am meisten Aussicht auf Erfolg, wenn sie auch eine Energiewende der Bürger wird und bezahlbar bleibt. Dazu sind am besten dezentrale Projekte geeignet, an denen die Öffentlichkeit teilhaben und profitieren kann.

Die Sektorenkopplung Strom, Wärme und Mobilität direkt vor Ort ist dabei Garant für Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Entlastung der vorgelagerten Stromnetze.

