Planungsentwurf

zur

Bahnstromversorgung

Elektrifizierung Nordostbayern

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Elektrotechnik Gerhard Pirner

Initiatoren:

MdL Dr. Harald Schwartz

Landkreis Amberg-Sulzbach

Kreisfreie Stadt Amberg

Stadt Sulzbach-Rosenberg

Gemeinde Illschwang

Gemeinde Neukirchen b. Sulzbach-Rosenberg

Gemeinde Etzelwang

Gemeinde Weigendorf

Gemeinde Ammerthal

Gemeinde Kümmersbruck

Gemeinde Pommelsbrunn

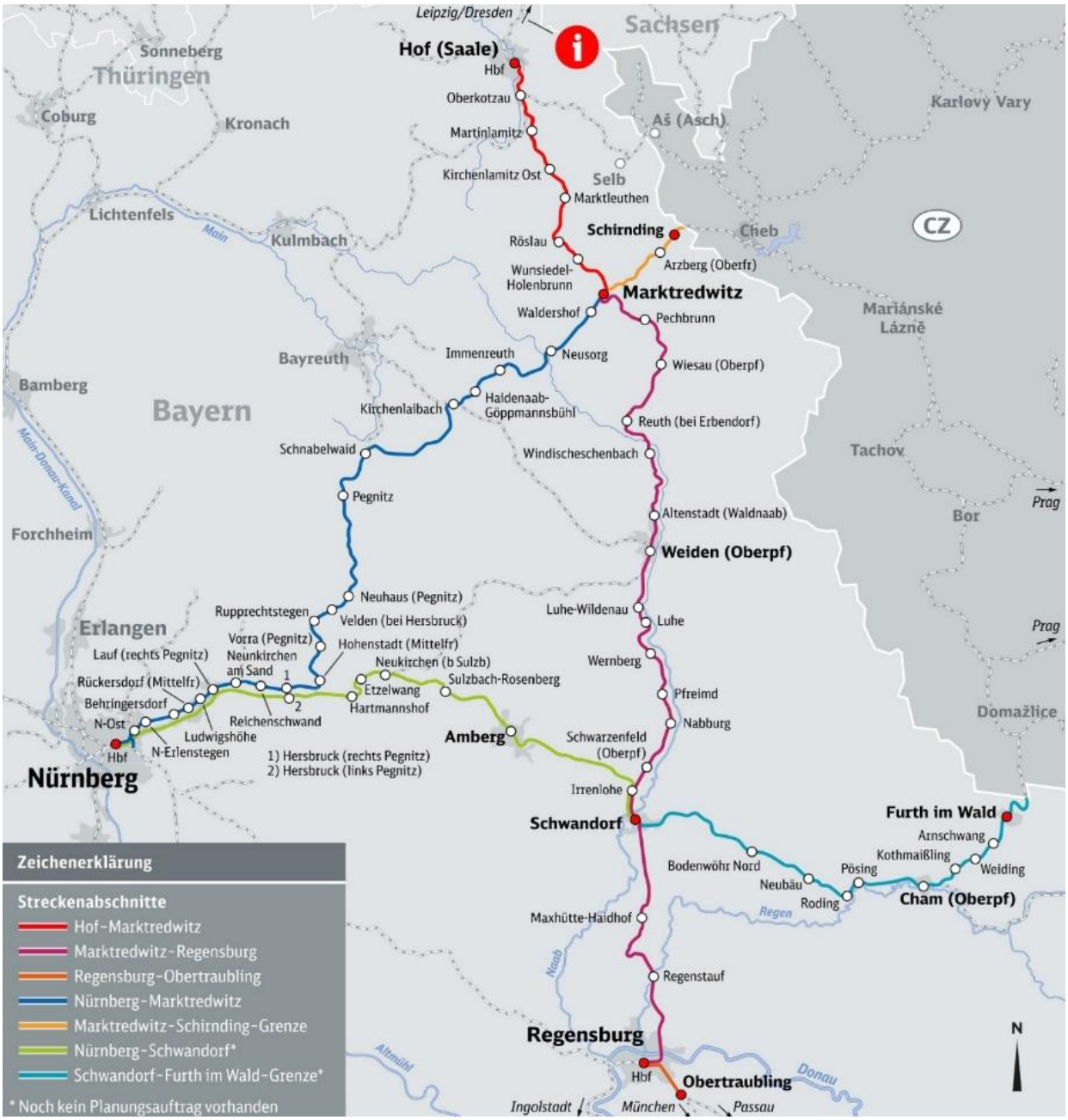
IG Bahnstrom - So Nicht

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage und Zielsetzung 2
2. Positionspapier der Kommunen 4
3. Planungskriterien 5
4. Bahnstromversorgung in Deutschland 6
5. Umrichter-Technik und dezentrale Einspeisung 11
6. Gutachten zur dezentralen Versorgung 12
7. Autotransformersystem 13
8. Erdverkabelung und „gelöschtes Netz“ 13
9. Planungsvarianten 16
9.1 Planung DB als Referenz 16
9.2 Variante A1: Dezentrale Einspeisung mit Umrichtern in Hohenstadt, Schnabelwaid, Irrenlohe und Wiesau 17
9.2 Variante A2: Zentrale Einspeisung in Hohenstadt, Dezentrale Einspeisung in Schnabelwaid, Irrenlohe und Wiesau 21
9.3 Variante B1: Zentrale Einspeisung in Hohenstadt, Irrenlohe und Wiesau, Dezentrale Einspeisung in Schnabelwaid, Redundanz durch zentralen Umrichter bei Wiesau 22
9.4 Variante B2: Zentrale Einspeisung in Hohenstadt, Irrenlohe und Wiesau, Dezentrale Einspeisung in Schnabelwaid, Redundanz durch Mitführen der Bahnstromleitung auf erneuertem Ostbayernring bis Redwitz 24
9.5 Variante C: Galvanische Trennung des Bahnstromnetzes in Ottensoos und Burgweinting, Erdverkabelung durch sensitive Gebiete 26
9.6 Integration des PSW Happurg in das Bahnstromnetz 28
10. Vergleich der Varianten 30
11. Zusammenfassung und Fazit 30
12. Quellenverzeichnis 31
14. Anhang 33

1. Ausgangslage und Zielsetzung

Im Zuge des Bundesverkehrswegeplanes 2030 soll das Schienennetz in Nordostbayern zukunftsfähig ausgebaut werden. Wesentlicher Bestandteil dieser Verbesserungsmaßnahmen ist die Elektrifizierung der Strecken. Damit ist ein emmisionsfreier Betrieb der Schienenfahrzeuge möglich und die Strecken können in das Fernverbindungsnetz eingebunden werden.



Die Realisierung erfolgt in Einzelprojekten für die Strecken Regensburg-Hof, Nürnberg-Marktredwitz-Schirnding und Nürnberg-Schwandorf-Furth im Wald.

Die Strecke Regensburg-Hof ist Bestandteil einer wichtigen Nord-Süd Verbindung im Güterzugverkehr. Die Planung hierfür ist bereits weit vorangeschritten und die Realisierung gilt als sicher.

Die Strecke Nürnberg-Marktredwitz (Franken-Sachsen-Magistrale) soll den Fernverkehr nach Prag ermöglichen. Die Planung hierfür ist ebenfalls im Gange. Über die Realisierung wird nach Abschluss der Planung entschieden.

Die Strecke Nürnberg-Amberg-Schwandorf-Furth im Wald (Metropolenbahn) soll sowohl der Fernverbindung Nürnberg-Prag, als auch der Verbindung München-Prag dienen. Der Planungsauftrag soll Anfang 2021 erteilt werden, über die Realisierung wird ebenfalls erst nach Abschluß der Planung entschieden.

Die Stromversorgung der Strecken erfolgt durch Einspeisepukte in die Oberleitung im Abstand von ca. 50 km mit Bahnstrom der Sonderfrequenz 16,7 Hz und einer Spannung von 15 kV. Der vorliegende Entwurf der DB sieht ein neu zu erstellendes Bahnstromnetz mit 110 kV-Hochspannungsleitungen von insgesamt 200 km Länge vor, mit Einspeisepunkten (Unterwerke) in Hohenstadt, Schnabelwaid, Wiesau und Irrenlohe.

Insbesondere die geplanten Trassen durch das Pegnitztal, über die Fränkische und Oberpfläzer Alb sowie durch den Veldensteiner Forst stoßen wegen ihrer schweren Eingriffe in Natur und Landschaft sowohl bei den beteiligten Kommunen als auch in der Bevölkerung auf breite Ablehnung. Dabei wird jedoch die geplante Elektrifizierung der Bahnstrecken ausdrücklich begrüßt und auch erwünscht.

Die hier vorgelegten Planungsvarianten nutzen zum großen Teil die Möglichkeit der dezentralen Einspeisung aus der bereits vorhandenen, leistungsfähigen Strominfrastruktur des öffentlichen Netzes und kommen ohne neue Hochspannungstrassen aus. Ebenfalls gibt es keine Verschiebung von Belastungen in andere Gebiete oder andere Bereiche.

Das Planungsziel ist ein sicherer, zuverlässiger und wirtschaftlicher Bahnbetrieb, auch im Hinblick auf eine Versorgung mit 100 % Ökostrom, ohne die gleichzeitige Zerstörung von Natur und Landschaft.

Als Grundlage für die Planung dienten einschlägige Fachliteratur z.B. „Handbuch der Eisenbahninfrastruktur, Ausgabe 2019“ sowie Studien und Gutachten z.B. des Fraunhofer Instituts Kassel und der Universität Dresden. (s.a. Quellenverzeichnis)

2. Positionspapier der Kommunen

Grundlage und Motivation für die Ausarbeitung der vorliegenden Planungsvarianten ist das Positionspapier folgender beteiligten Kommunen:

Landkreis Amberg-Sulzbach

Kreisfreie Stadt Amberg

Stadt Sulzbach-Rosenberg

Gemeinde Weigendorf

Gemeinde Pommelsbrunn

Gemeinde Etzelwang

Gemeinde Neukirchen b. Sulzbach-Rosenberg

Gemeinde Illschwang

Gemeinde Ammerthal

Gemeinde Kümmersbruck

mit dem Wortlaut:

1. ***Wir lehnen es ab, Bahnstrom als Sicherheitsreserve für andere, bereits geplante Strecken, durch unsere Gemeinden zu führen.*** *Darum muss* ***zuallererst*** *der fehlende* ***Planungsauftrag für die Metropolenbahn von Nürnberg über Neukirchen nach Schwandorf*** *stehen – die Aufnahme in den vordringlichen Bedarf (aktueller Stand) ist zu unkonkret. Erst danach kann ernsthaft über eine Stromversorgung gesprochen werden.*

2. *Der Planungsauftrag des Bundesverkehrsministeriums, ein „Bahnstromnetz" zu konzipieren, muss geändert werden.* ***Mit diesem Auftrag besteht für die Planer überhaupt keine Möglichkeit, Alternativen zum üblichen Bahnstromnetz zu prüfen.*** *Die* ***Aufgabenstellung*** *muss deshalb aus unserer Sicht lauten:*
   Planung eines elektrischen Antriebs der Schienenfahrzeuge auf der Bahnstrecke Nürnberg – Schwandorf. *Folgende Alternativen sind dabei zu prüfen:*
   - *Elektrifizierung der Strecke mit Fahrstrom aus dem öffentlichen Netz (Einspeisung über Umrichter).*
   - *Batterieelektrischer Antrieb der Schienenfahrzeuge – wie z. B. in Schleswig-Holstein ab 2022 praktiziert (diese neuen Akku-Züge lassen sich zum einen an vorhandenen Oberleitungen der Hauptstrecken nachladen, zum anderen ist dort die Errichtung neuer Ladestationen geplant).*
   - *Wasserstoffantrieb der Schienenfahrzeuge überall dort, wo die Reichweite der Akku-Züge für nicht ausreichend erachtet wird.*

3. Erst nach einer ernsthaften Prüfung und Abwägung dieser und ggf. weiterer technischer Alternativen darf eine Elektrifizierung mit ergänzender Infrastruktur in Form eines neuen Bahnstromnetzes, vorrangig unter dem Gesichtspunkt der Bündelung entlang der überregionalen Straßen erfolgen. ***Auch hier gilt der Grundsatz: „Wir dulden kein Bahnstromnetz als Sicherheitsreserve durch unsere Gemeinden!“***

3. Planungskriterien

Bei jeder Art von Planung und Entwürfen gilt es, verschiedene Anforderungen zu erfüllen, die oft auch im Gegensatz zu einander stehen. Für die Versorgung mit Bahnstrom gelten folgende Kriterien:

- Sicherheit
  Welche Gefahren für Leib und Leben von Personen oder auch Güter gibt es?

- Zuverlässigkeit
  Ist ein Betrieb ohne Störungen möglich?

- Beeinträchtigung von Personen
  Emissionen, Lärm, EMV, Strahlung etc.

- Naturschutz
  Eingriff in Landschaftsschutzgebiete, Naturparke, Naturschutzgebiete, Lebensräume bedrohter Tier- und Pflanzenarten

- Flächenverbrauch

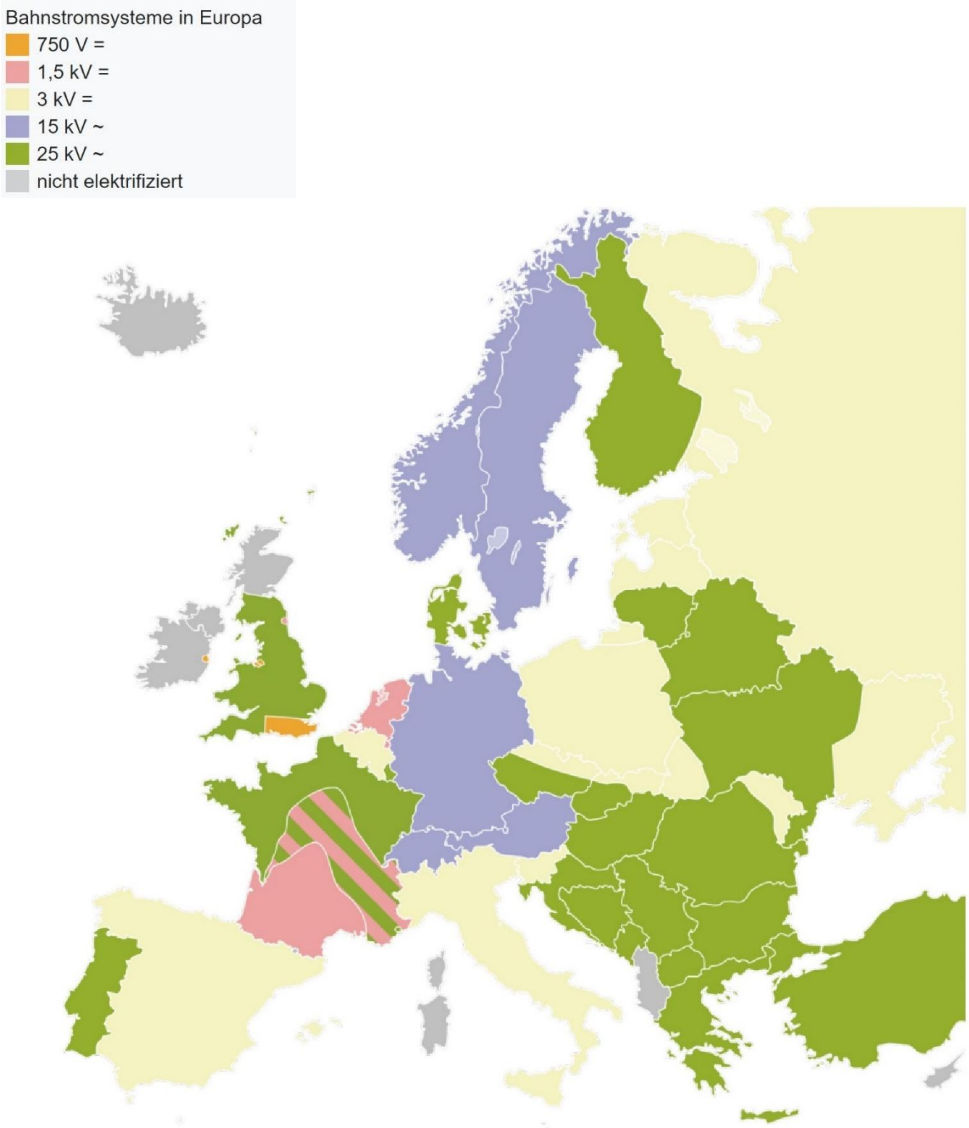
- Herstellungskosten

- Betriebskosten

- Flexibilität hinsichtlich Streckenrealisierung
  Bei den auszubauenden Bahnstrecken ist nur für die Strecke Regensburg-Hof sichergestellt, dass sie realisiert wird. Das Bahnstromkonzept muss berücksichtigen, dass eventuell die Metropolenbahn oder die Franken-Sachsen-Magistrale nicht realisiert werden.

4. Bahnstromversorgung in Deutschland

Das gesamte Schienennetz der Deutschen Bahn hat derzeit eine Länge von 35000 km. Davon sind ca. 60 %, also 18000 km elektrifiziert. Die Spannung an der Oberleitung beträgt 15 kV bei einer Frequenz von 16,7 Hz. Diese Festlegung wurde im Jahre 1912 getroffen und gilt für Deutschland, Österreich und die Schweiz. In anderen Ländern ist das System 50 Hz, 25 kV sehr verbreitet. Es hat den Vorteil, dass über Transformatoren aus dem öffentlichen 50 Hz 3-phasen Netz direkt auf die Oberleitung eingespeist werden kann. Der Nachteil ist, dass dabei einzelne Streckenabschnitte elektrisch getrennt werden müssen um eine unsymmetrische Netzbelastung zu vermeiden. Das 16,7 Hz-Netz hat dagegen den Vorteil, dass die Fahrleitung komplett durchverbunden ist, was zu einer erhöhten Versorgungssicherheit führt.



Quelle: [18]

GeoViewer | DB Netze Fahrweg DB NETZE

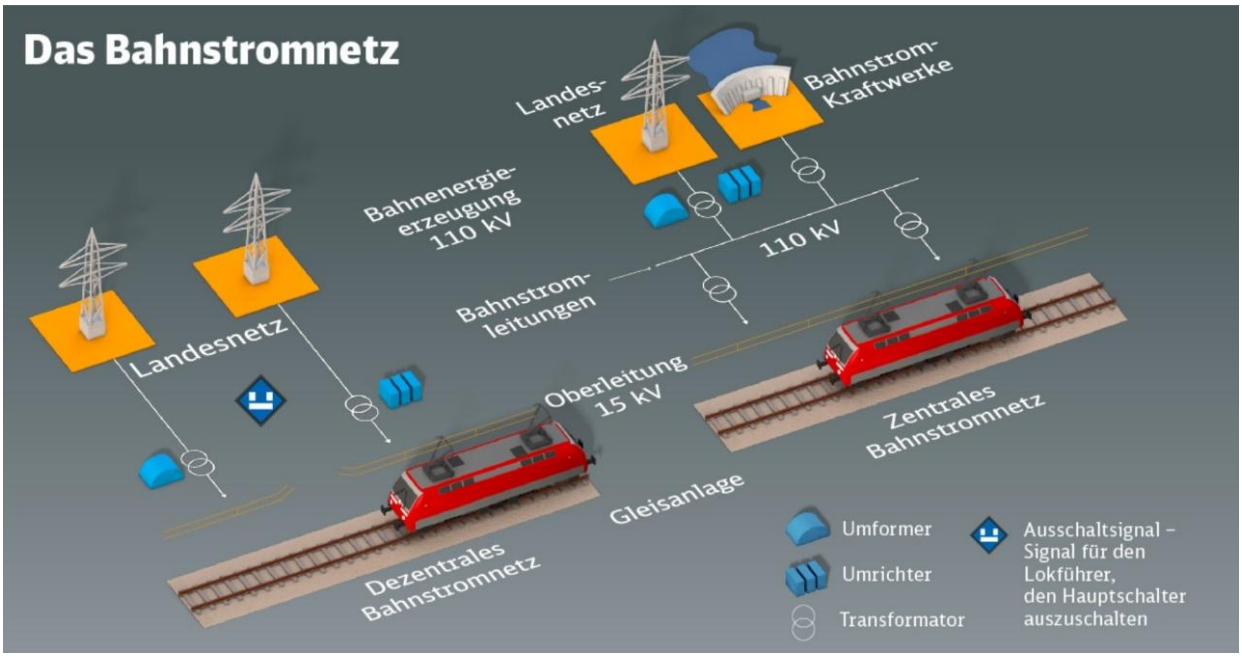
DB Streckennetz

Beschreibung: rot = elektrifiziert

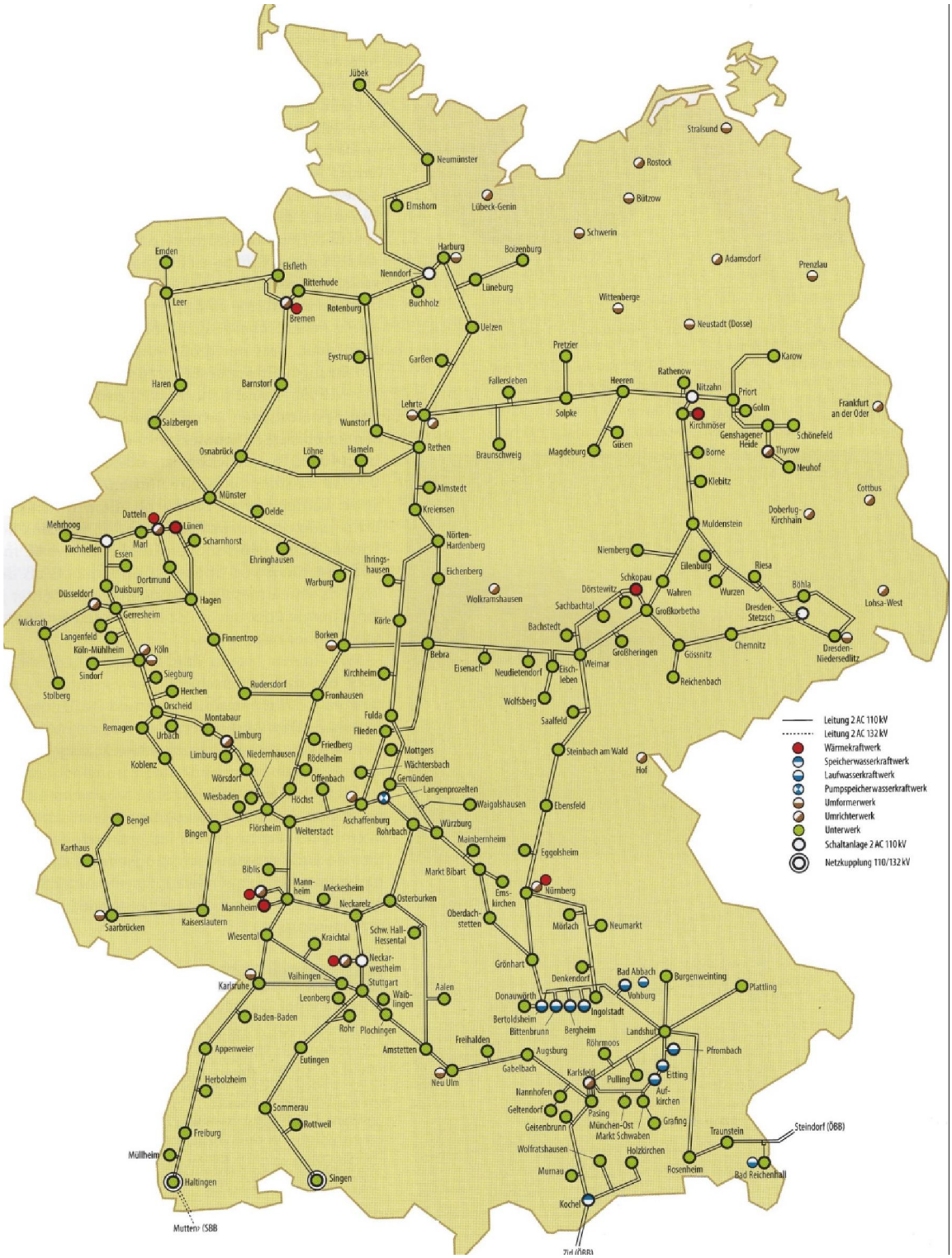
Maßstab: 1:4,000,000
SRS: EPSG:31467
DPI: 127

© Deutsche Bahn AG Seite 1 - 2 22.10.2020 - 22:41:50

Über ca. 180 Einspeisepunkte, sogenannte Unterwerke wird ein großer Teil des elektrifizierten Netzes aus dem zentralen 110 kV-Bahnstromnetz versorgt. Die Länge des zentralen Bahnstromnetzes beträgt 7800 km. Große Teile der neuen Bundesländer sowie das Allgäu werden dezentral über ältere rotierende Umformer oder moderne Umrichter aus dem öffentlichen Netz versorgt. Betreiber der Bahnstromversorgung ist die DB Energie GmbH, die auch 50 Hz Strom an bahneigene Einrichtungen liefert und als der fünftgrößte Energieversorger Deutschlands auch Strom für Privatkunden und Gewerbe anbietet.



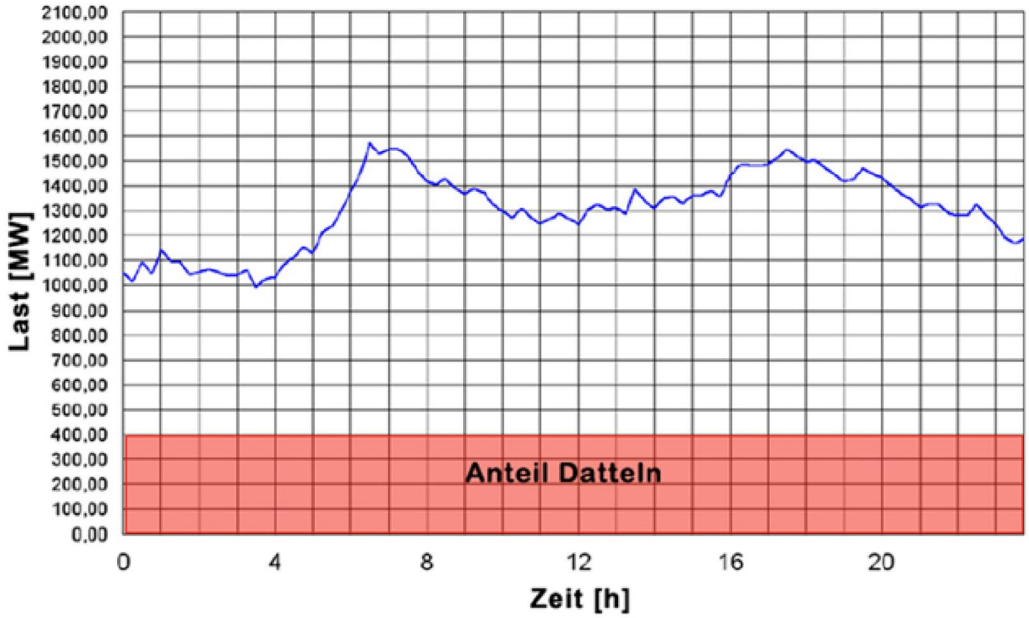
Quelle: https://inside.bahn.de/bahnstromnetz/?dbkanal_006=L01_S01_D088_KTL0027_sch-share-cont-23885_LZ01



Bahnstromnetz DB

Ca. 60 % des Gesamtstrombedarfes kann die DB über eigene Kraftwerke bzw. Fremdkraftwerke mit langfristigen Verträgen, decken, der Rest wird aus dem öffentlichen Netz zugekauft. Die DB

ist dabei der größte Stromeinkäufer auf dem Markt. Die Einspeisung in das DB-Netz erfolgt nur zum geringen Teil direkt über Bahnstromerzeuger mit 16,7 Hz. Der überwiegende Teil wird durch 110 kV-Umrichter erzeugt. Selbst bei Neubaukraftwerken wie z.B. Kohlekraftwerk Datteln 4, welches 400 MW Leistung in das Bahnnetz einspeist, erfolgt die Erzeugung zunächst auf die 50 Hz, 380 kV Ebene um danach über 4 Umrichter à 100 MW auf 110 kV, 16,7 Hz, gewandelt zu werden.



Anteil Datteln 4 Quelle: [15]

Der Bahnstrommix hat derzeit einen Ökostromanteil von 60 %. Zur Ökostromversorgung tragen bahneigene Wasserkraftwerke z.B. Walchensee bei, darüber hinaus wird Ökostrom direkt oder auch über Zertifikate zugekauft.

Die Gesamtleistung des Bahnstromnetzes schwankt zwischen 1200 MW und 1500 MW. Dabei treten Laständerungen von bis zu 300 MW in wenigen Sekunden auf. Zum Ausgleich dieser Schwankungen gibt es ein Primär- und ein Sekundärregelsystem welche zentral gesteuert werden. Die schnelle Primärregelung erfolgt über 110 kV-Umrichter aus dem öffentlichen Netz. Da die Kapazität des öffentlichen Netzes mit einer Gesamtlast von 60 GW fast 50mal größer ist, kann es diese Laständerungen problemlos aufnehmen. Die Sekundärregelung übernehmen das Pumpspeicherkraftwerk Langenprozelten (160 MW), das Walchenseekraftwerk (50 MW) sowie schnelle Gasturbinenkraftwerke, die ihre Leistung in wenigen Minuten hoch- oder herunterfahren können.

5. Umrichter-Technik und dezentrale Einspeisung

Bei der im Jahre 1912 erfolgten Festlegung der Frequenz wurde bewusst 16⅔ Hz als ein Drittel der 50 Hz Netzfrequenz gewählt, da somit eine Konvertierung über rotierende Umformer ermöglicht wurde. Dabei befinden sich ein Dreiphasen-Drehstrommotor und ein Einphasenwechselstromgenerator auf einer Welle. Mit dieser Technik ist es möglich, sowohl 110 kV- als auch 15 kV Bahnstrom zu erzeugen, allerdings hat der so erzeugte Strom immer genau ein Drittel der Frequenz des öffentlichen 50 Hz Netzes und ist damit nicht exakt synchron zum Bahnstromnetz. Bei einer dezentralen Einspeisung muss deswegen der entsprechende Streckenabschnitt über Trennstellen isoliert werden. Die DB betreibt bis heute rotierende Umformer, z.B. in Stralsund, diese sollen zukünftig durch moderne Umrichter ersetzt werden.

Moderne Umrichter auf der Basis von Leistungshalbleitern wandeln Spannung und Frequenz ohne mechanischen Verschleiß in Bahnstrom um, sowohl auf die 110 kV Ebene als auch dezentral in die 15 kV Leitung. Der größte Teil des zentralen 110 kV Netzes wird über Umrichter versorgt.

Die DB betreibt seit 25 Jahren statische dezentrale Umrichter. Ein Großteil der rotierenden Umformer in der ehemaligen DDR wurde inzwischen durch Umrichter ersetzt. Auch alle aktuellen Elektrifizierungsprojekte wie zum Beispiel Lindau-München, Bodensee-Ulm oder Knappenrode-Horka wurden mit dezentralen Umrichtern, z.T. in Kombination mit der ebenfalls modernen Autotransformertechnik, realisiert.

6. Gutachten zur dezentralen Versorgung

Die technische Machbarkeit der dezentralen Einspeisung über Umrichter und zwar **für das gesamte deutsche Bahnstromnetz,** wurde in einem Gutachten der Technischen Universität Dresden, Leibnitz Universität Hannover und TU Clausthal, unter Federführung von **Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan** bestätigt.

Dabei ging es um die Frage, ob das gesamte deutsche zentrale Bahnstromnetz rückgebaut und durch dezentrale Umrichter ersetzt werden könnte, um die dann freigewordenen Stromtrassen für neue Fernleitungen des öffentlichen Netzes zu nutzen. Untersucht wurden dabei auch Varianten mit nur teilweisem Rückbau des Bahnstromnetzes.

Das Ergebnis des Gutachtens ist, dass die dezentrale Einspeisung für das gesamte Bahnstromnetz mit bis zu 180 Umrichtern technisch machbar ist, aber der komplette, oder auch teilweise Rückbau des Bahnstromnetzes wirtschaftlich nicht sinnvoll ist.

Der Titel des Gutachtens lautet: „**Technische Machbarkeit der Dezentralisierung des Bahnstromnetzes“**

Zitat:

> Die durchgeführte Untersuchung zu vorhandenen Technologien der Bahnstromerzeugung hat ergeben, dass eine **dezentrale Bahnstromversorgung** mit Sonderfrequenz technisch **grundsätzlich machbar** ist. Dies zeigen einerseits die langjährigen Betriebserfahrungen in den Bahnnetzen Norwegens, Schwedens und der USA, andererseits existieren heute mit der Umrichtertechnik neue, effizientere Technologien als noch vor 10 bis 20 Jahren.

Zitat zum Betrieb von Umrichtern:

> Die zukünftig geplante weitere Umstellung der Bahnenergieerzeugung zugunsten höherer Anteile der Umrichter-Einspeisung sowohl in das 110-kV-Bahnstromnetz als auch in die 15-kV-Fahrleitungsanlagen bietet aus heutiger Sicht vor allem energiewirtschaftliche Vorteile, die in der hohen Regeldynamik sowie dem hohen Wirkungsgrad der Umrichter auch bei großer Lastdynamik und damit in größeren Freiheitsgraden bei der Wahl der Energiebezugs begründet sind. Zudem haben leistungselektronische Umrichter inzwischen deutlich geringere Lebenszykluskosten als rotierende Umformer, die aus Spezialmaschinen bestehen.

7. Autotransformersystem

Das Autotransformersystem ist eine Technik, mit deren Hilfe der Abstand zwischen zwei Einspeisepunkten vergrößert werden kann. Dabei wird eine zusätzliche, sogenannte Feederleitung parallel zur Oberleitung mitgeführt. Dabei wird eine Übertragungsspannung von 30 kV statt 15 kV erreicht und die Leitungsverluste werden entsprechend geringer.

Das Autotransformersystem findet u.a. Einsatz auf der Strecke Lindau-München. Die Feederleitung wird dort auf speziellen, etwas höheren Oberleitungsmasten geführt, könnte aber auch erdverkabelt werden.

8. Erdverkabelung und „gelöschtes Netz“

Zur Vermeidung der negativen Auswirkungen von Freileitungen bietet sich grundsätzlich die Erdverkabelung an. Kabeltrassen können direkt an bestehender Infrastruktur, z.B. Seitenstreifen von Straßen, oder auch durch sensible, naturnahe Gebiete verlegt werden. Sie sind im Gelände unsichtbar und ohne schädliche Wirkung auf Mensch und Natur.

Der Nachteil liegt zum einen in höheren Investitionskosten, zum anderen in einer wesentlichen höheren Leitungskapazität bei Wechselstromnetzen, welche dann unerwünschten Blindstrom erzeugt, der durch entsprechende Maßnahmen kompensiert werden muss.

Aktuell werden viele Mittelspannungsfreileitungen (20 kV) durch die Energieversorger auf eigene Kosten erdverkabelt. Dies geschieht in erster Linie aus Gründen der Versorgungssicherheit um Gefahren durch Sturm und umstürzende Bäume zu minimieren.

Die zum Gelingen der Energiewende erforderlichen HGÜ-Leitungen (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung), welche vor allem Windstrom von Norddeutschland nach Süddeutschland übertragen sollen (z.B. „Südostlink“) wurden zunächst als Freileitungen geplant. Aufgrund des großen Eingriffs in die Landschaft werden diese nun als Erdkabel realisiert, trotz der um Faktor 2 bis 3 höheren Investitionskosten. Eine Erdverkabelung bietet sich hier vor allem auch deswegen an, weil bei der Gleichstromübertragung die zusätzliche Kabelkapazität keine Rolle spielt und somit kein Blindstrom entsteht.

Das Bahnstromnetz wäre an sich für eine Erdverkabelung ebenfalls gut geeignet, da aufgrund der niedrigen Frequenz von 16,7 Hz der entstehende Blindstrom nur ein Drittel im Vergleich zum 50 Hz-Netz beträgt.

Dem steht jedoch entgegen, dass das Bahnstromnetz als sogenanntes „gelöschtes Netz“ betrieben wird. Dabei werden parallel zur Leitung Induktivitäten (Petersenspule) geschaltet, die zusammen mit der gesamten Leitungskapazität auf Resonanz abgeglichen sind. Der bei einem Erdschluss, ausgelöst z.B. durch Vögel, entstehende Lichtbogen wird dann durch den Stromfluss in den Petersenspulen automatisch gelöscht und der Betrieb der Leitung geht nach einer nur kurzen Unterbrechung weiter. Bei den Leitungen des öffentlichen Netzes erfolgt die

Lichtbogenlöschung durch Schaltwerke, welche den betroffenen Streckenabschnitt abschalten und nach wenigen Sekunden wieder in Betrieb setzen.

Der Funktionsfähigkeit des gelöschten Netzes sind jedoch physikalische Grenzen gesetzt. Die Gesamtkapazität des Leitungsnetzes darf einen Maximalwert nicht überschreiten um die sichere Löschung durch die Petersenspulen zu ermöglichen. Man spricht hier von der „Leitungsreserve“, die bis zum Erreichen des Maximalwertes noch verfügbar ist.

Durch die um den Faktor 20 höhere Leitungskapazität eines Erdkabels im Vergleich zu einer Freileitung würde somit 1 km Erdkabel die gleiche Leitungsreserve verbrauchen wie 20 km Freileitung. Eine Erdverkabelung im gelöschten Netz ist deswegen „unerwünscht“.

Sowohl nach Angaben in der aktuellen Fachliteratur, als auch nach eigenen Aussagen der DB Energie hat die Leitungsreserve mittlerweile den Wert Null erreicht.

Zitat aus „Handbuch Eisenbahninfrastruktur“ Ausgabe 2019 [4]:

14.3.2.2 Bahnenergieübertragung

Der Leitungsaufbau des Bahnstromnetzes ist zweipolig mit entgegengesetzter Phasenlage, die Leiter-Erde-Nennspannung beträgt je 55 kV pro Phase. Daraus ergibt sich für die Energieübertragung eine Leiter-Leiter-Nennspannung von 110 kV.

Das deutsche Bahnstromnetz hat aktuell eine Trassenlänge von 7785 km und ist landesweit – mit Ausnahme im Raum nordöstlich von Berlin – vorhanden. Das Netz wird landesweit durchgekuppelt und mit resonanzgeerdetem Sternpunkt betrieben, was die Löschfähigkeit und den unterbrechungsfreien Weiterbetrieb ohne Schalthandlungen bei flüchtigen einpoligen Erdschlüssen sichert. Der für die Löschfähigkeit zulässige maximale Erdschlussreststrom ist derzeit im Gesamtnetz fast erreicht. Aus diesem Grund sind großräumige Netzerweiterungen oder die Installation von Kabelstrecken mit hoher kapazitiver Wirkung nicht ohne weiteres möglich.

Der vorliegende Planungsentwurf der DB mit ca. 220 km Neubautrassen gefährdet durch die Überschreitung der zulässigen Gesamtkapazität des gelöschten Netzes die Sicherheit des gesamten deutschen Bahnstromnetzes. Die weitere, bereits vorgesehene Elektrifizierung von ca. 5000 km Bahnstrecken erfordert andere Konzepte als den Ausbau des bestehenden

zentralen Bahnstromnetzes. Der Anteil der elektrifizierten Bahnstrecken soll in den nächsten Jahren von 60 % auf 75 % steigen.

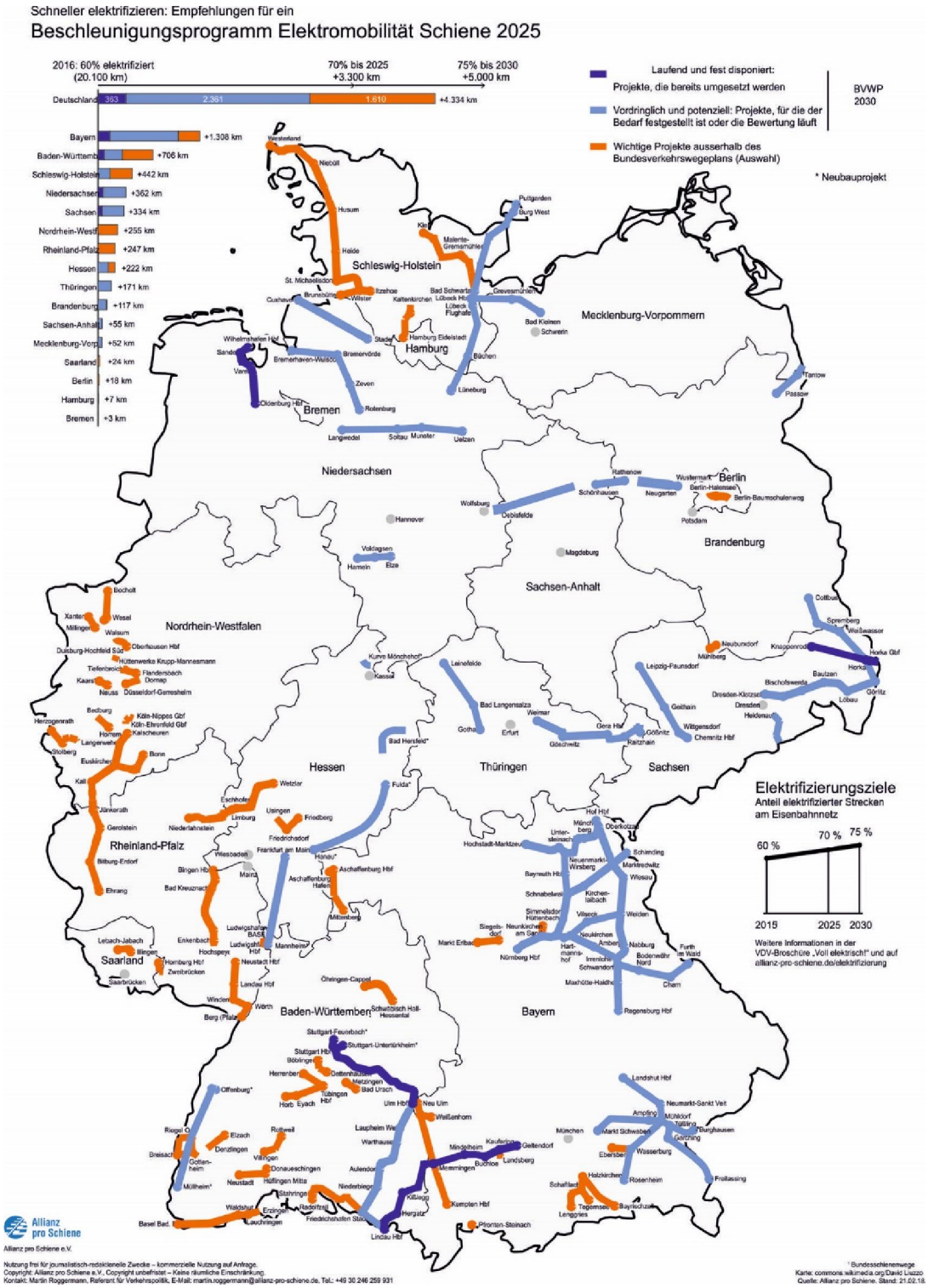


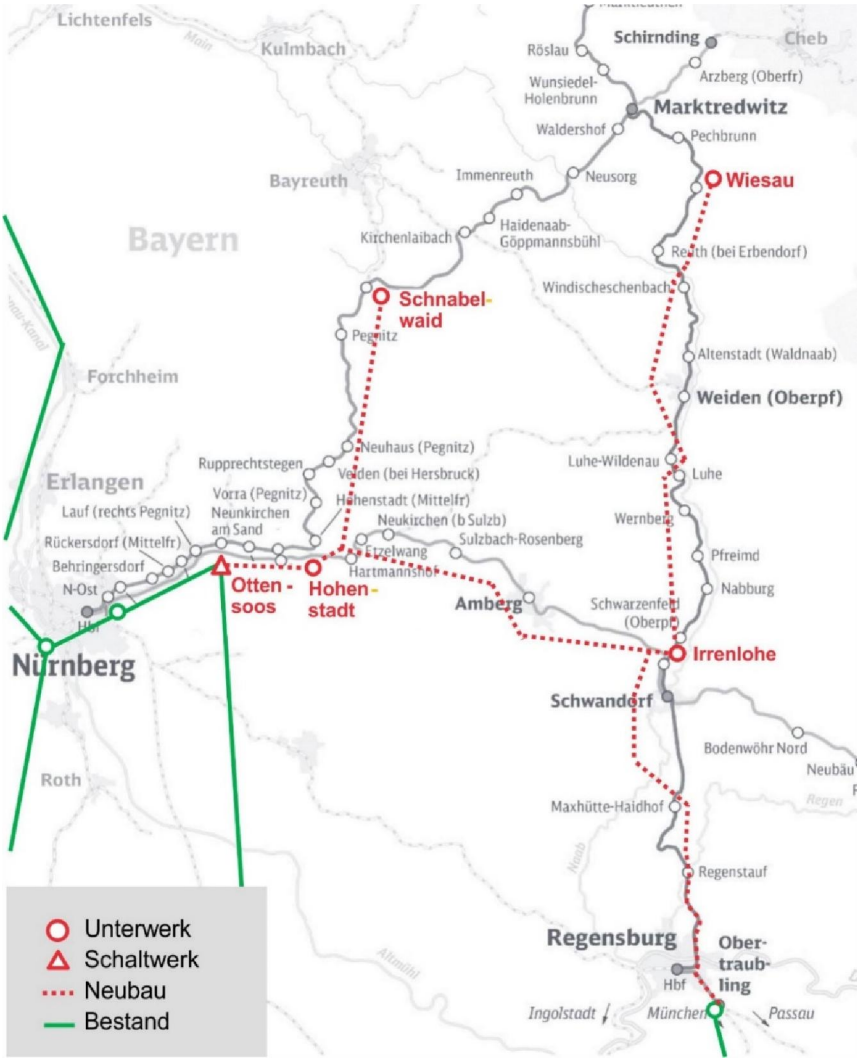
Bild: Allianz pro Schiene e.V.

9. Planungsvarianten

9.1 Planung DB als Referenz

Der Planungsentwurf der DB sieht für die zu versorgenden Bahnstrecken Unterwerke in Hohenstadt, Schnabelwaid, Irrenlohe und Wiesau mit einer Leistung von jeweils 30 MW vor. Der Ort und die Leistung der Unterwerke wurden dabei so gewählt, dass eine sichere Versorgung der Strecken gegeben ist. Dies wird für die weiteren Planungsvarianten als fix angenommen.

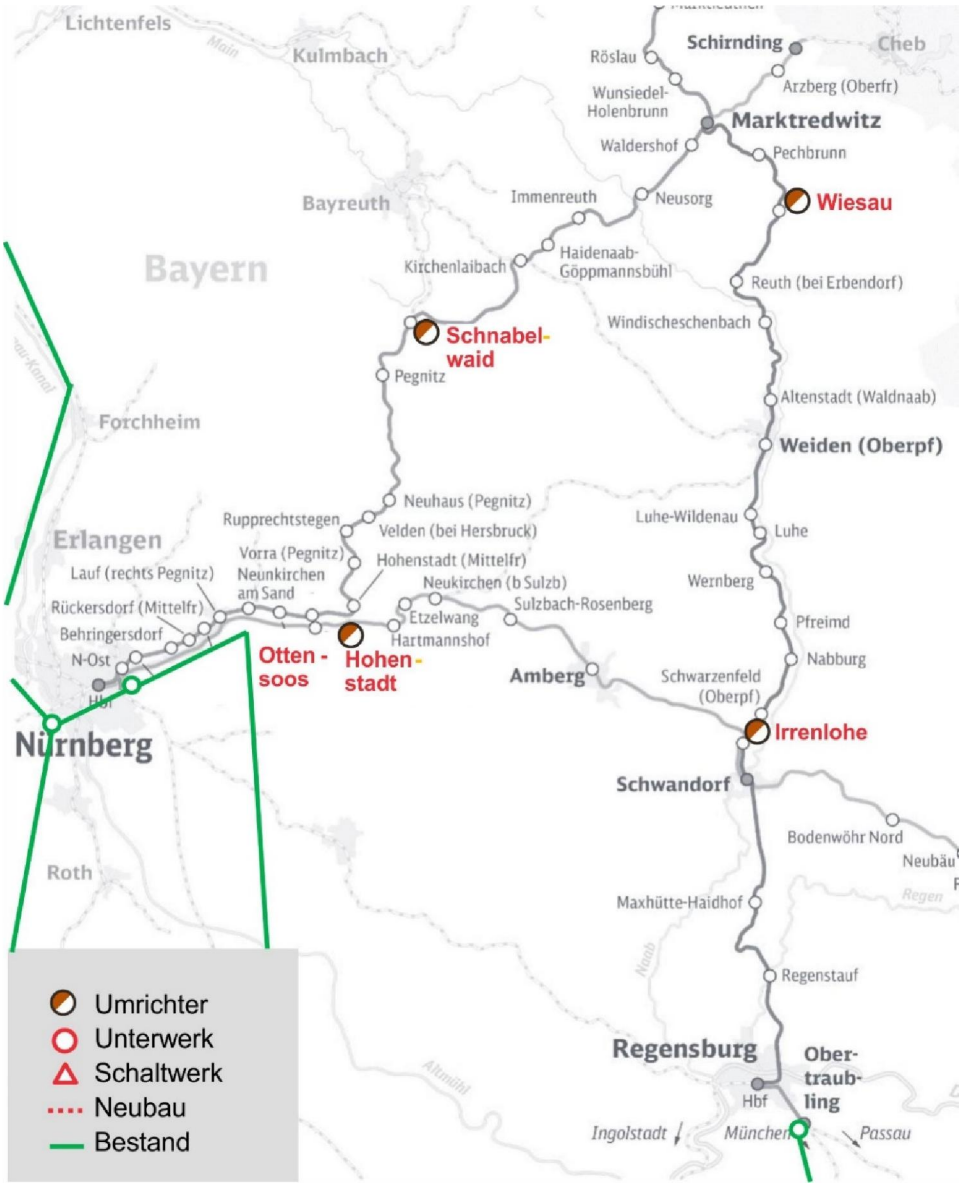
Die neu zu bauenden Bahnstromtrassen durchqueren auch sensible, naturnahe Gebiete wir die Hersbrucker- und Oberpfälzer Alb, den Naturpark „Fränkische Schweiz – Veldensteiner Forst“, sowie das Pegnitz- und Lehental mit einer Gesamtlänge von 220 km.



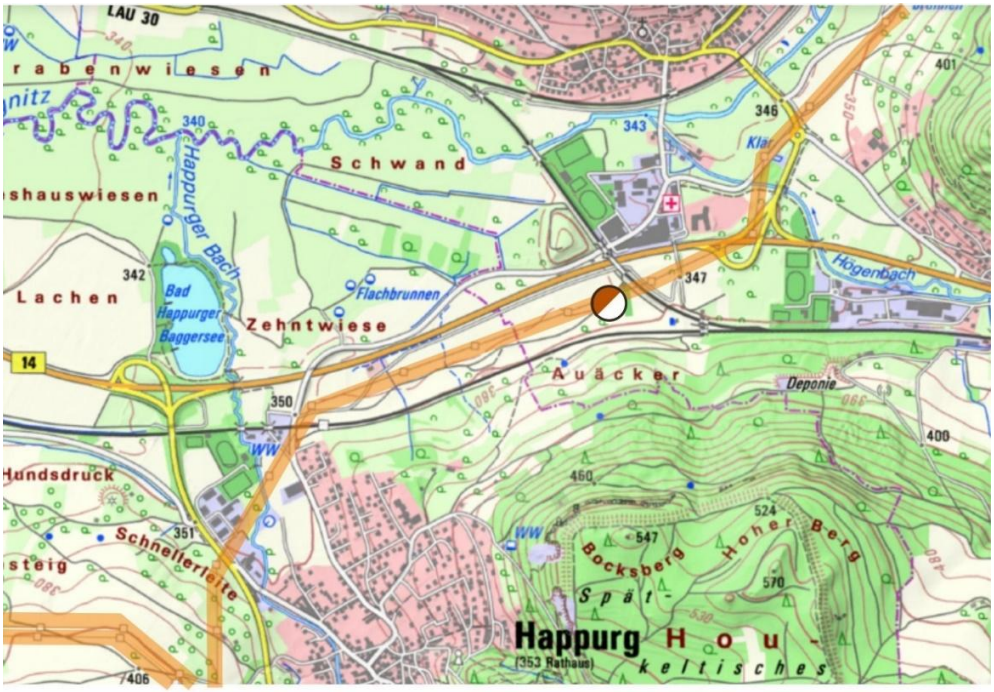
Planung DB

9.2 Variante A1: Dezentrale Einspeisung mit Umrichtern in Hohenstadt, Schnabelwaid, Irrenlohe und Wiesau

Die Speisung der Oberleitung erfolgt über dezentrale, von der DB standardisierte Umrichter mit einer Leistung von jeweils 2 x 15 MW. Die Versorgung der Umrichter wird durch 110 kV-Leitungen des öffentlichen Netzes sichergestellt, die sich jeweils in unmittelbarer Nähe der Umrichterstandorte befinden.

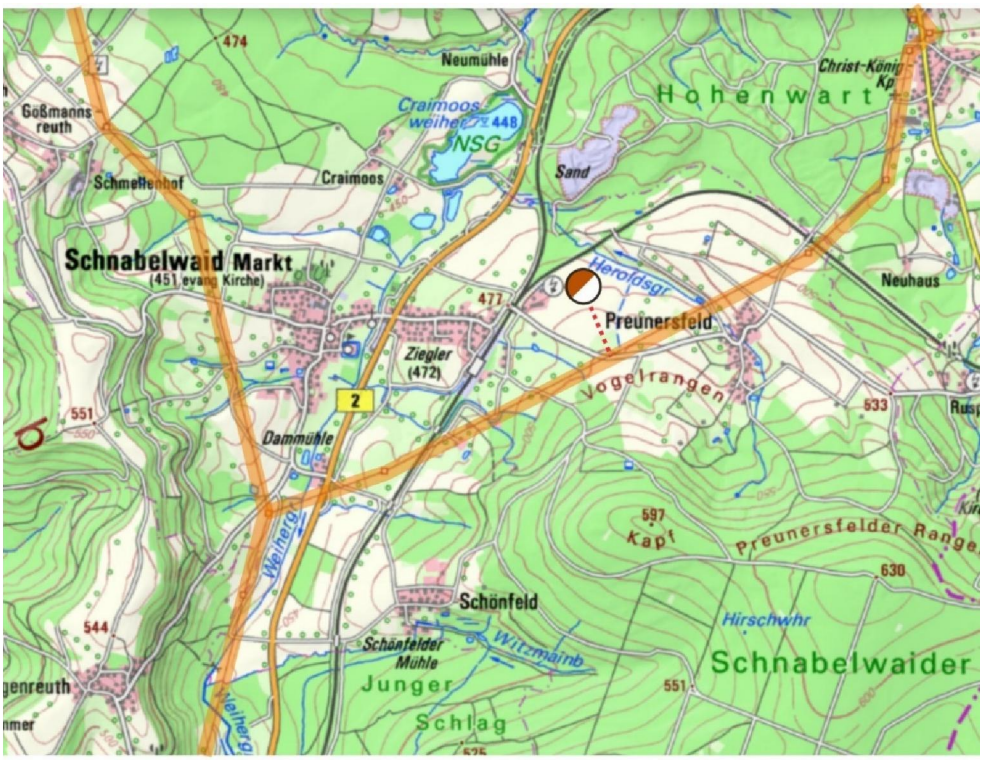


Variante A1



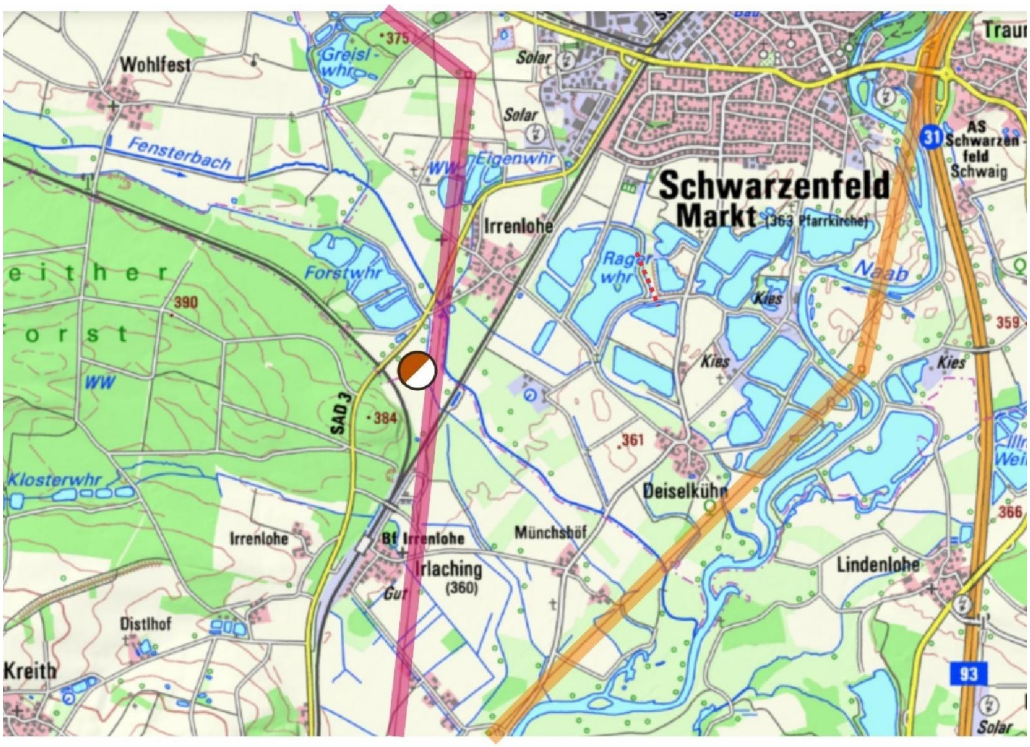
110kV 50Hz Umrichter Hohenstadt

Lageplan Hohenstadt



110kV 50Hz Umrichter Schnabelwaid

Lageplan Schnabelwaid



110kV 50Hz
380kV 50Hz
Umrichter Irrenlohe

Lageplan Irrenlohe

110kV 50Hz
Umrichter Wiesau

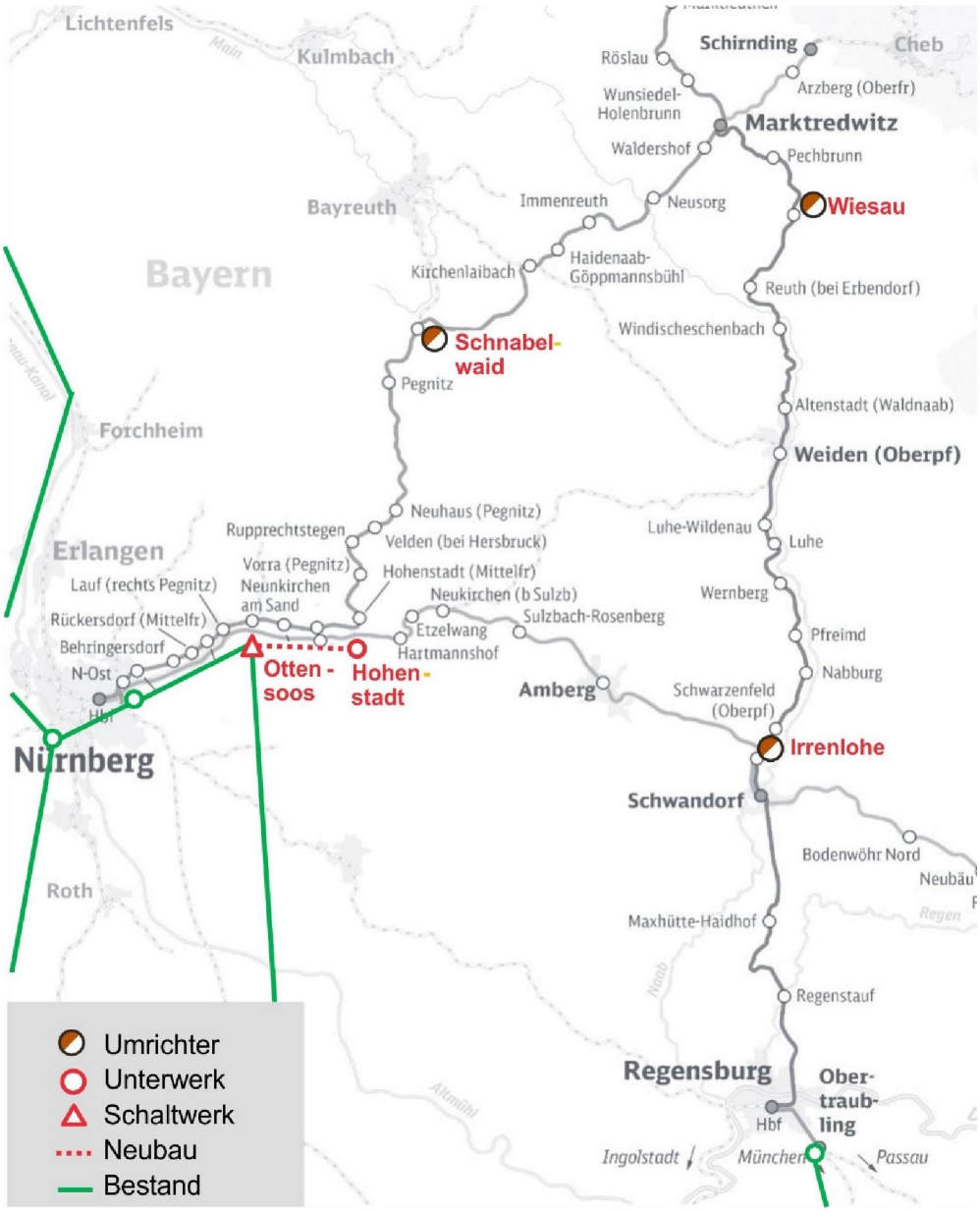
Lageplan Wiesau

Die Versorgungssicherheit ist durch die redundante Ausführung der Umrichter mit jeweils unabhängigen 15 MW Blöcken gegeben. Die Umrichter können je nach Realisierung der Bahnstrecken errichtet werden. Regensburg-Nürnberg erfordert nur die Umrichter in Irrenlohe und Wiesau. Für Nürnberg-Marktredwitz wären die Umrichter Hohenstadt und Schnabelwaid erforderlich. Für die Strecke Nürnberg-Schwandorf wäre ein Umrichter in Hohenstadt nötig (unter der Annahme, dass Regensburg-Hof ohnehin realisiert wird). Die Überbrückung der Strecke Hohenstadt-Irrenlohe mit einer Länge von 56 km wird mit dem Einsatz der Autotransformertechnik ermöglicht.

Der Eingriff in Landschaft und Natur ist bei dieser Variante fast bei null, die benötigten Flächen für die Umrichter entsprechen weitestgehend den ohnehin erforderlichen Flächen für die Unterwerke.

9.2 Variante A2: Zentrale Einspeisung in Hohenstadt, Dezentrale Einspeisung in Schnabelwaid, Irrenlohe und Wiesau

Diese Variante ist identisch mit A1, mit dem Unterschied, dass der Einspeisepunkt Hohenstadt über ein Unterwerk aus dem zentralen Bahnstromnetz versorgt wird. Die Anbindung des Unterwerkes Hohenstadt erfolgt über eine ca. 11 km lange Leitung von Ottensoos auf Kombimasten auf der bestehenden 110 kV Leitung des öffentlichen Netzes.



Variante A2

9.3 Variante B1: Zentrale Einspeisung in Hohenstadt, Irrenlohe und Wiesau, Dezentrale Einspeisung in Schnabelwaid, Redundanz durch zentralen Umrichter bei Wiesau

Diese Variante sieht vor, die Bahnstromleitung von Burgweinting bis Wiesau an den Masten des erneuerten Ostbayernringes mitzuführen. Damit könnten die Unterwerke in Irrenlohe und Wiesau an das Bahnstromnetz angebunden werden. Die Herstellung der (n-1)-Redundanz erfolgt über einen zentralen Umrichter bei Wiesau, der in die 110 kV-Bahnstromleitung einspeist. Die Länge der Bahnstrom-Stichleitung wird dabei auf null reduziert und damit die Versorgungssicherheit gegenüber der Lösung mit einer Querspange nach Westen erhöht.

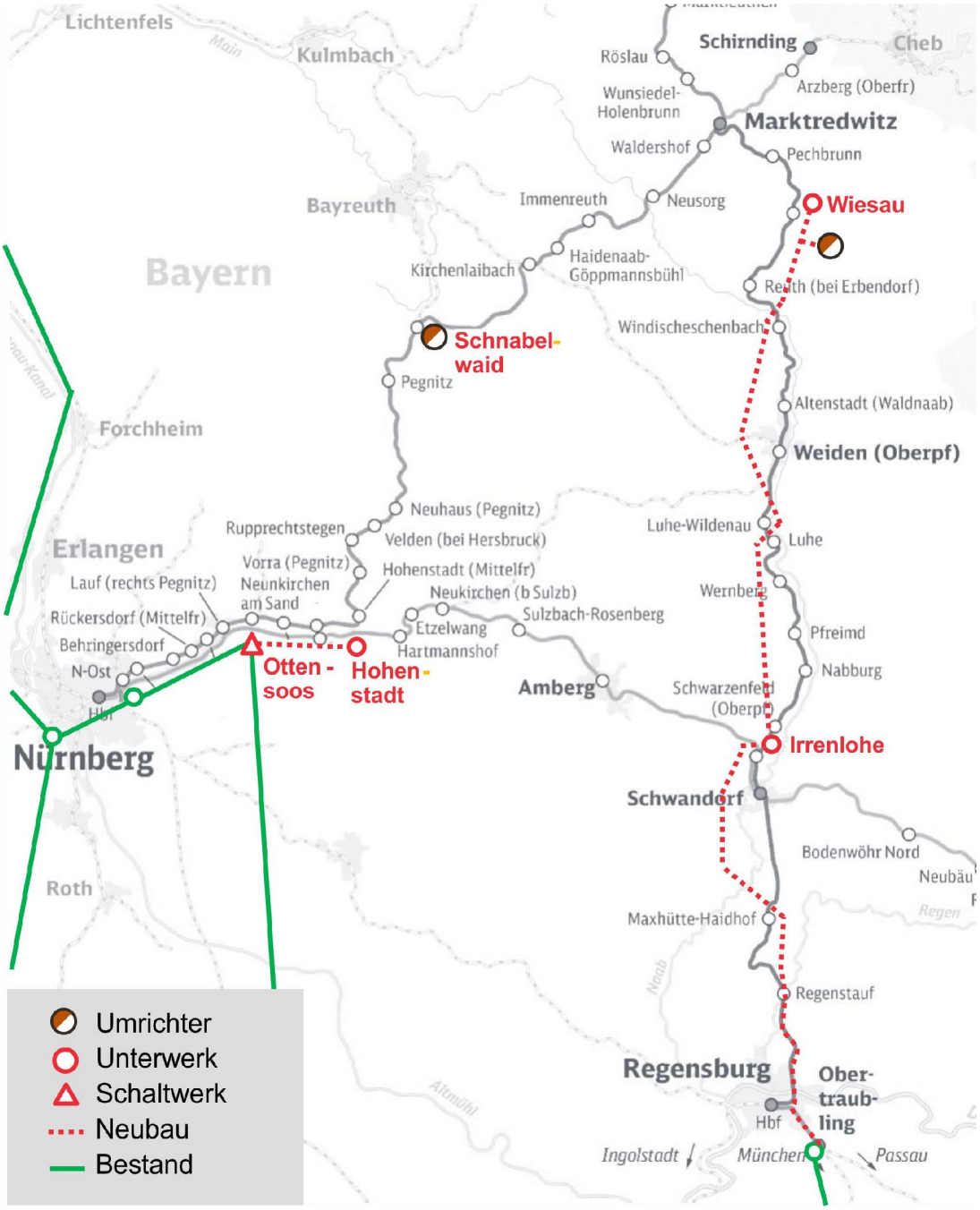
Darüber hinaus bietet ein weiterer Versorgungspunkt in das zentrale Netz Vorteile hinsichtlich der zukünftigen Versorgung des Bahnstromnetzes auch mit Ökostrom.

Die Überbrückung der Strecke Hohenstadt-Irrenlohe mit einer Länge von 56 km wird mit dem Einsatz der Autotransformertechnik ermöglicht oder durch ein dezentrales Umrichterwerk in Luitpoldhütte bei Amberg.

Falls nur der Ausbau der Strecke Regensburg-Hof realisiert wird, entfallen die Einspeisepunkte Hohenstadt und Schnabelwaid. Für diesen Fall wäre dies auch die bevorzugte Lösung der DB.

Für den Ausbau der Franken-Sachsen-Magistrale wird Hohenstadt und Schnabelwaid benötigt, für die Metropolenbahn nur Hohenstadt.

Der Betrieb des Umrichters Schnabelwaid sollte auch laut DB keine Probleme bereiten, es herrschen ähnliche Verhältnisse wie im Allgäu oder anderen bereits realisierten Umrichterstandorten.


Lichtenfels
Kulmbach
Schirnding
Cheb
Röslau
Arzberg (Oberfr)
Wunsiedel-
Holenbrunn
Marktredwitz
Waldershof
Pechbrunn
Bayreuth
Immenreuth
Neusorg
Wiesau
Bayern
Kirchenlaibach
Haidenaab-
Göppmannsbühl
Reuth (bei Erbendorf)
Windischeschenbach
Schnabel-
waid
Pegnitz
Altenstadt (Waldnaab)
Forchheim
Weiden (Oberpf)
Neuhaus (Pegnitz)
Rupprechtstegen
Velden (bei Hersbruck)
Luhe-Wildenau
Luhe
Erlangen
Vorra (Pegnitz)
Hohenstadt (Mittelfr)
Lauf (rechts Pegnitz)
Neunkirchen
am Sand
Neukirchen (b Sulzb)
Wernberg
Rückersdorf (Mittelfr)
Sulzbach-Rosenberg
Etzelwang
Pfreimd
Behringersdorf
Hartmannshof
Nabburg
N-Ost
Otten -
soos
Hohen -
stadt
Amberg
Schwarzenfeld
(Oberpf)
Irrenlohe
Nürnberg
Schwandorf
Bodenwöhr Nord
Neubäu
Roth
Maxhütte-Haidhof
Regen
Naab
Regenstauf
Umrichter
Unterwerk
Schaltwerk
Neubau
Bestand
Regensburg
Ober-
traub-
ling
Altmühl
Hbf
Ingolstadt
München
Passau

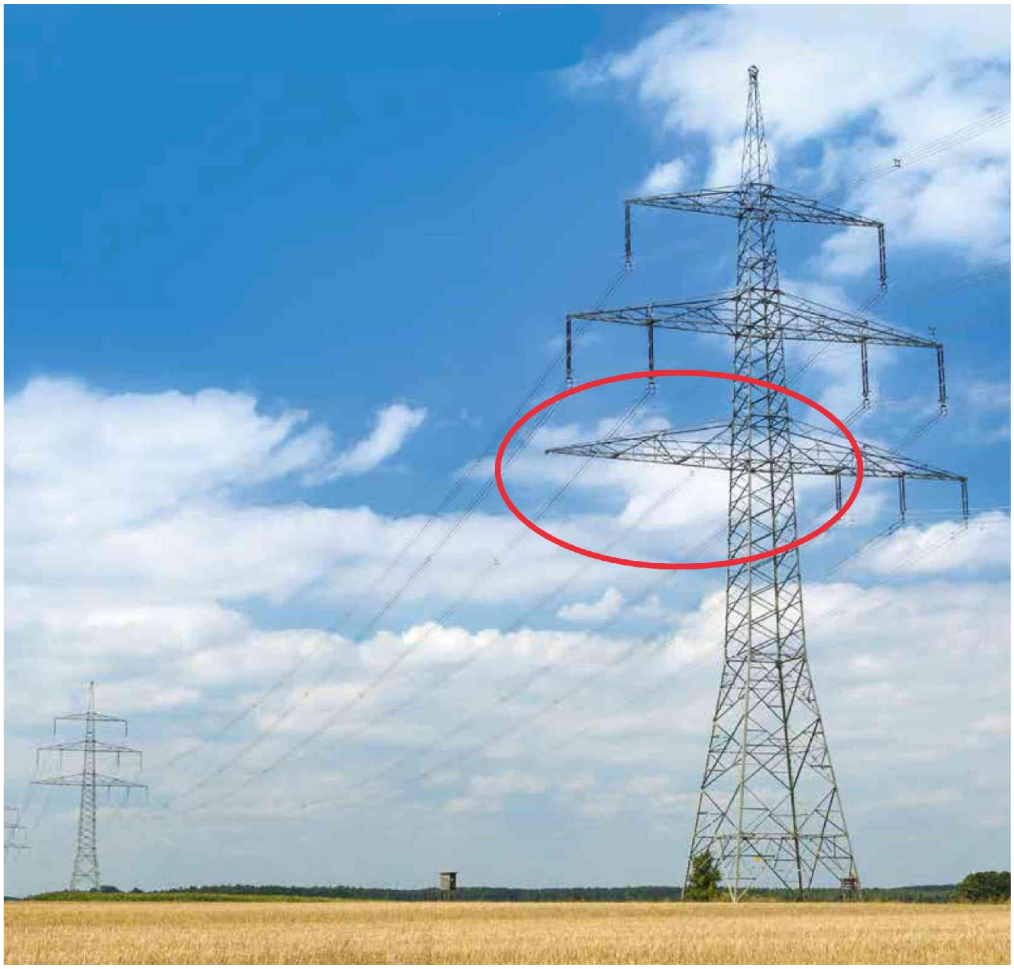
Variante B1

9.4 Variante B2: Zentrale Einspeisung in Hohenstadt, Irrenlohe und Wiesau, Dezentrale Einspeisung in Schnabelwaid, Redundanz durch Mitführen der Bahnstromleitung auf erneuertem Ostbayernring bis Redwitz

Im Unterschied zu Variante B1 wird die Redundanz der Bahnstromleitung durch einen Ringschluss durch Mitführung auf dem erneuerten Ostbayernring bis Redwitz und dortiger Anbindung an das Bahnstromnetz hergestellt.

Diese Variante erlaubt auch die Elektrifizierung weiterer Bahnstrecken in Oberfranken.

Quelle: [16]



Ostbayernring mit freier Traverse für 110 kV Bahnstrom

Quelle: [16]

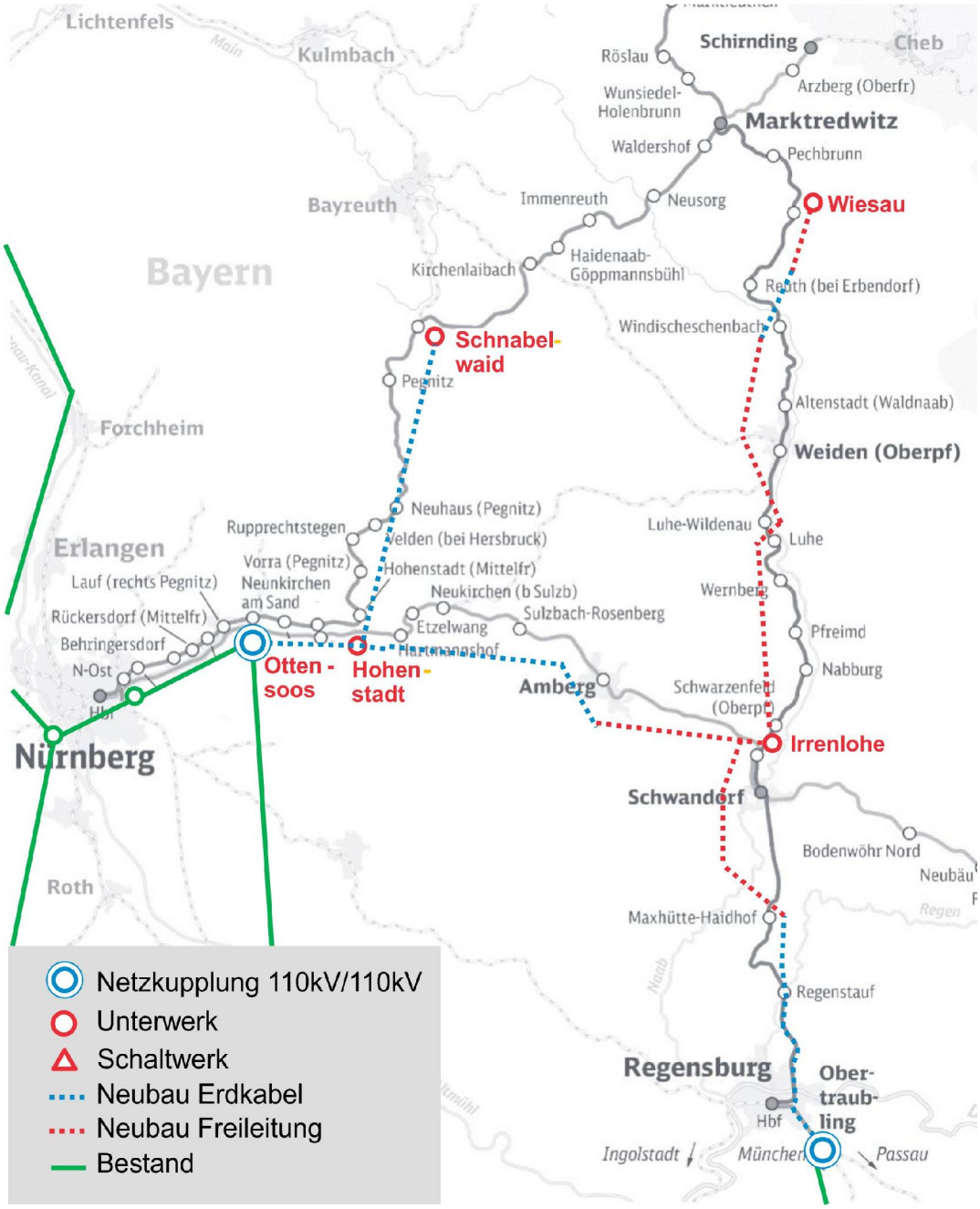
9.5 Variante C: Galvanische Trennung des Bahnstromnetzes in Ottensoos und Burgweinting, Erdverkabelung durch sensitive Gebiete

Die vorgesehene Neubauleitung von 220 km Länge kann durch Transformatoren 110 kV-110 kV in Ottensoos und Burgweinting vom bestehenden zentralen Bahnstromnetz galvanisch getrennt werden. Damit wird zu diesem Netz keine zusätzliche Leitungskapazität hinzugefügt und somit dessen Löschfähigkeit nicht gefährdet. Ähnliche Trenn- bzw. Koppelstellen befinden an der Grenze zur Schweiz mit Transformatoren 110 kV-132 kV.

Das abgekoppelte „Nordostbayernetz“ hat nun eine Leitungskapazität von ca. 7800 km Freileitung oder ca. 390 km Erdkabel. Damit ist es möglich, das zentrale Bahnstromnetz wie durch die DB geplant zu erweitern, aber in sensitiven Bereichen eine Erdverkabelung durchzuführen, z.B. in Landschaftsschutzgebieten, Naturparken und auch in bewohnten Gebieten.

Als Kabeltrassen kommen Seitenstreifen neben Bahnlinien, Bundesstraßen, Autobahnen aber auch bestehende Schutzstreifen unter vorhandenen Hochspannungsleitungen in Frage.

Die DB Energie hält diese Variante für machbar und auch die betroffenen Kommunen würden eine Erdverkabelung über die Fränkische und Oberpfälzer Alb unterstützen.



Planungsvariante C

9.6 Integration des PSW Happurg in das Bahnstromnetz

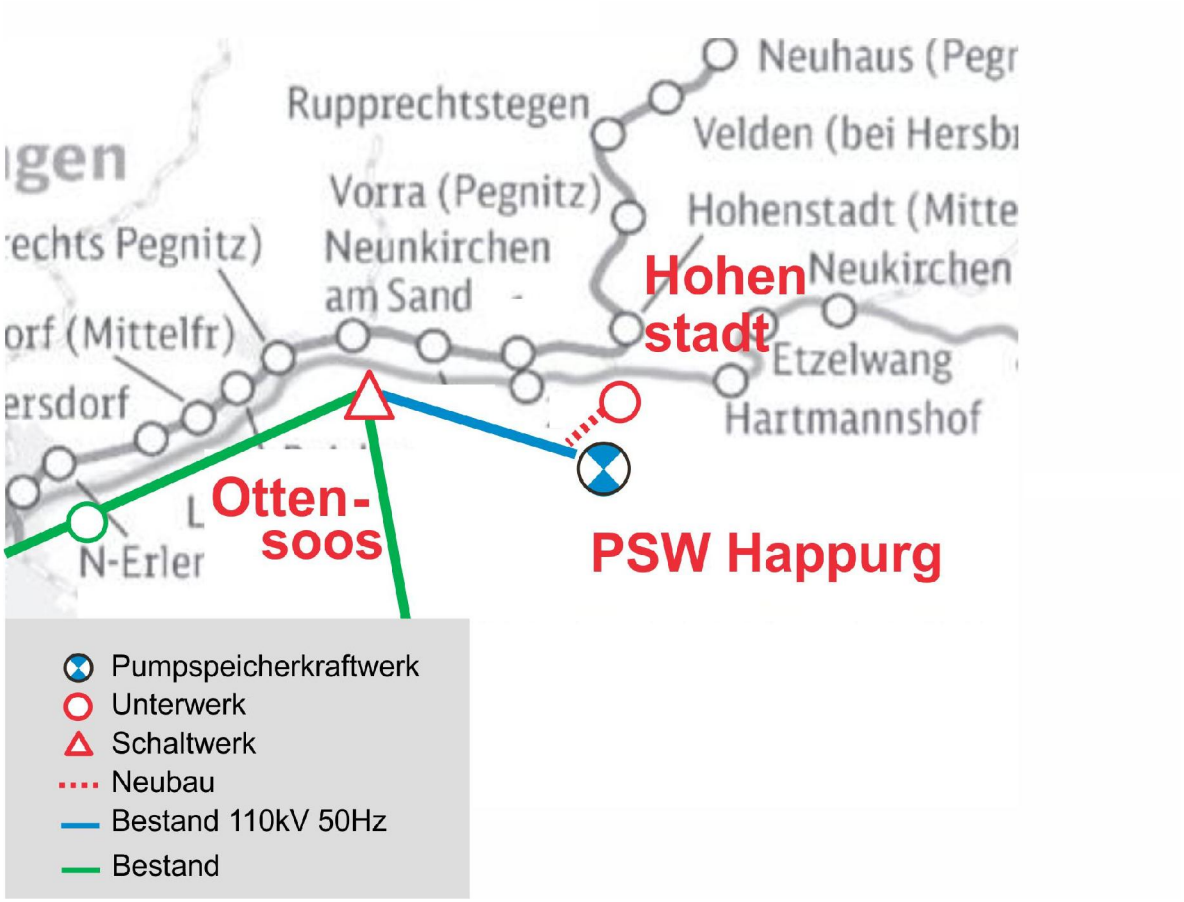
Das Pumpspeicherkraftwerk Happurg mit einer Leistung von 160 MW ist seit 2011 stillgelegt, als Wasserverluste und Undichtigkeiten im Oberbecken festgelegt wurden. Es wurde ein Sanierungskonzept erarbeitet mit Kosten von ca. 100 Mio. €. Aufgrund der Benachteiligung von Pumpspeicherkraftwerken mit doppelt anfallenden Netzdurchleitungsentgelten ist für den Eigentümer Uniper eine Sanierung unwirtschaftlich.

Die DB Energie betreibt zur Stabilisierung des zentralen Bahnstromnetzes das PSW Langenprozelten mit einer ähnlichen Leistung und Kapazität. Laut einer Studie des Fraunhofer Institutes IWES, Kassel, sind langfristig für die Versorgung des Bahnnetzes mit 100 % Ökostrom wesentlich größere Speicherkapazitäten erforderlich. Bei dem Betrieb eines PSW im Bahnstromnetz fallen die Durchleitungsentgelte nicht an und durch die Volatilität des Bahnstromnetzes ist eine gute Auslastung durch die hohe Anzahl von Speicherzyklen gegeben. Der wirtschaftliche Betrieb des PSW Happurg wäre damit trotz der Sanierungskosten gegeben.

Das PSW Happurg ist derzeit über zwei parallel verlaufende 110 kV 50 Hz Leitungen an das öffentliche Netz angebunden. Diese Leitungen kreuzen bei Ottensoos das Bahnstromnetz. Damit könnte eine dieser beiden Leitungen mit minimalem Aufwand zur Bahnstromleitung umgebaut und bei Ottensoos an das Bahnstromnetz angebunden werden.

Als Nebeneffekt würde damit eine neue Bahnstromleitung bis 2 km vor Hohenstadt realisiert, ohne dass eine neue, zusätzliche Trasse durch das untere Pegnitztal notwendig wird.

Lage PSW Happurg


Neuhaus (Pegr
Rupprechtstegen
Velden (bei Hersbr
Vorra (Pegnitz)
Hohenstadt (Mitte
Neunkirchen
am Sand
Hohen
stadt
Neukirchen
Etzelwang
Hartmannshof
orf (Mittelfr)
ersdorf
N-Erler
Otten-
soos
PSW Happurg
Pumpspeicherkraftwerk
Unterwerk
Schaltwerk
Neubau
Bestand 110kV 50Hz
Bestand

10. Vergleich der Varianten

Zur Bewertung und zum übersichtlichen Vergleich der insgesamt sechs verschiedenen Planungsvarianten sind hier die wichtigsten Parameter tabellarisch zusammengefasst:

	DB	A1	A2	B1	B2	C
Länge Neubau Freileitung	220km	-	10km	10km	10km	50km
Länge Mitführung auf Kombimasten	-	-	-	65km	200km	60km
Länge Erdverkabelung	-	-	-	-	-	110km
Anzahl Unterwerke	4	-	1	3	3	4
Anzahl dezentraler Umrichter	-	4	3	1	1	-
Anzahl zentraler Umrichter	-	-	-	1	-	-
Anzahl Netzkupplung 110kV/110kV	-	-	-	-	-	2
Anteil Einspeisung aus zentralem Netz	100%	0%	30%	80%	80%	100%
Gefährdung gelöschtes Netz	100%	0%	5%	30%	100%	0%

11. Zusammenfassung und Fazit

Mit den dargestellten Planungsvarianten wurde eine Vielzahl von Möglichkeiten aufgezeigt wie die Elektrifizierung der Nordostbayerischen Bahnstrecken möglich ist, ohne eine zweite Strominfrastruktur parallel zur bereits bestehenden aufzubauen. Das Ziel all dieser Vorschläge ist es, Eingriffe in die Natur und in das Landschaftsbild nicht nur zu verringern, sondern ganz zu vermeiden.

Etzelwang, 26. Oktober 2020

Gerhard Pirner

Lehenhammer 13
92268 Etzelwang
g.pirner@megatec.info

12. Quellenverzeichnis

[1] DB Netze: www.bahnausbau-nordbayern.de

[2] DB Netze: broschuere_abs_48_munchen-lindau_2019_9_5_web_final.PDF

[3] DB Netze: BR_knappenrode-horka-201812.PDF

[4] Lothar Fendrich, Wolfgang Fengler:
Handbuch Eisenbahninfrastruktur,
3. Auflage 2019, ISBN 978-3-662-56061-7

[5] DB Netze: BR-Elektrifizierung-Suedbahn-201711_n.PDF

[6] Leibniz Universität Hannover, Technische Universität Dresden
TU Clausthal:
Machbarkeitsstudie zur Verknüpfung von Bahn- und Energieleitungsinfrastrukturen

Ergebnisbericht zu Los 2: „Technische Machbarkeit der Dezentralisierung des Bahnstromnetzes“

TU Dresden
Institut für Bahnfahrzeuge und Bahntechnik
Professur für Elektrische Bahnen
Prof. Dr.-Ing. Arnd Stephan

[7] DB Netze: Interaktive Karte Schienennetz

https://geovdbn.deutschebahn.com/isr

[8] DB Netze
Fraunhofer-Institut für Windenergie und
Energiesystemtechnik (IWES), Kassel
Becker Büttner Held (BBH), Berlin
Institut für Klimaschutz, Energie und
Mobilität (IKEM), Berlin:

Bahnstrom Regenerativ - Analyse und
Konzepte zur Erhöhung des Anteils der
Regenerativen Energie des Bahnstroms
Endbericht

[9] ABB Schweiz AG: PRS SFC Wolkramshausen D.PDF

[10] DB Netze: PL_Urw_lohsa-west_2014-2015.PDF

[11] DB Netze: VDE-8_Bahnstrom_%2020_07_2016_einzeln.PDF

[12] DB Netze:
https://inside.bahn.de/bahnstromnetz/?dbkanal_006=L01_S01_D088_KTL0027_sch-share-cont-23885_LZ01

[13] Bayernwerk Netz GmbH: netzausbauplan-2019-bayernwerk-netz-gmbh.PDF

[14] Siemens Mobility GmbH: siemens-sitras-sfcplus-pi-de.PDF

[15] Karl-Heinz Brausen, Dipl.-Ing. (FH): https://jazudatteln4.de/

[16] Tennet TSO GmbH: 18073_Broschuere_Netzausbau_A4_OBR_V1.PDF

[17] Allianz pro Schiene e.V.: 180221_Elektrifizierungskarte_AllianzProSchiene.PDF

[18] Wikipedia: „Bahnstrom“

[19] Wikipedia: „Walchenseekraftwerk“

[20] Wikipedia: „Pumpspeicherkraftwerk Happurg“

[21] Wikipedia: „Pumpspeicherkraftwerk Langenprozelten“

[22] Bayerische Vermessungsverwaltung: BayernAtlas

[23] Uniper AG: hintergrundbericht_bahnstromumrichter-1.PDF

[24] NABU Niedersachsen
BESTGRID-Pilotprojekt C,
Trassenplanung im Bereich der deutschen Mittelgebirge
- Konflikte und Möglichkeiten für den Natur und Artenschutz –
Abschlussbericht

14. Anhang

Bahnstromversorgung Allgäu

Auf halber Stecke: Das im Bau befindliche dezentrale Umrichterwerk Leutkirch.

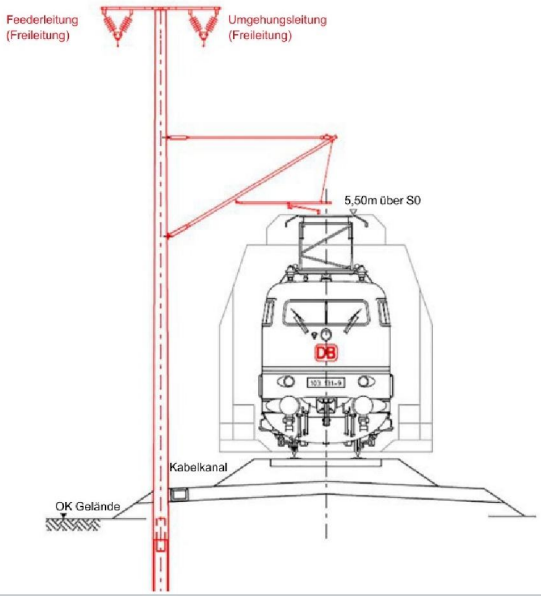
Bahnstromnetz

Wie funktioniert Bahnstrom?

In Deutschland fahren Züge mit sogenanntem Bahnstrom. Das ist Wechselstrom mit einer Spannung von 15.000 Volt und einer Frequenz von 16,7 Hertz. Vor allem Letzteres unterscheidet Bahnstrom vom haushaltsüblichen Strom mit 50 Hertz. Die Übertragung erfolgt normalerweise über ein eigenes, rund 7.800 Kilometer langes 110-Kilovolt-Hochspannungsnetz.

Aktuell bezieht die DB Energie ihren Strom zu rund 70 Prozent aus Kraftwerken, die direkt ins Bahnstromnetz einspeisen. Die restlichen 30 Prozent werden aus dem öffentlichen 50-Hertz-Netz bezogen, über Umformer und Umrichter umgewandelt und ins Bahnstromnetz gespeist.

Für die Elektrifizierung der ABS 48 wurden mehrere Varianten der Bahnstromversorgung untersucht – unter anderem auch der Bau einer neuen, separaten 110-Kilovolt-Bahnstromleitung mit mehreren Unterwerken, die den Strom dann in die Oberleitung einspeisen. Mit diesem Vorgehen wären allerdings über 100 Kilometer Bahnstromleitungen durch das Allgäu nötig geworden, ebenso der Bau großer Unterwerke entlang der Strecke – mit entsprechenden Folgen sowohl für die Umwelt als auch für die Kostenstruktur im Projekt. Die Entscheidung fiel daher letztlich zugunsten eines sogenannten Autotransformersystems mit einem dezentralen Umrichter, der Strom aus dem öffentlichen Netz in Bahnstrom umwandelt und in die Oberleitung speist. Bei dem Autotransformersystem handelt es sich um eine spezielle Ausführung der Bahnstromversorgung.



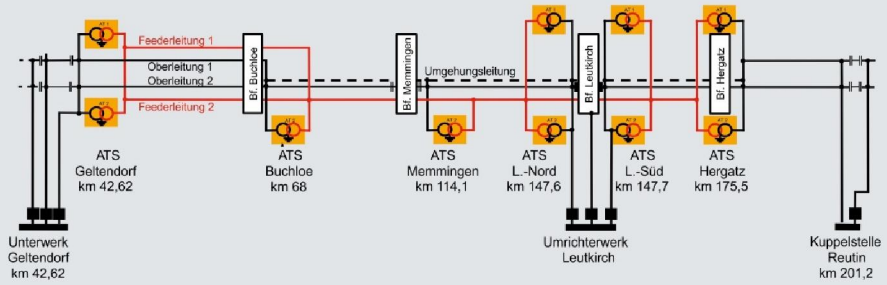
Querprofil Oberleitung im eingleisigen Streckenabschnitt mit Feederleitung

8

Welche Anlagen müssen errichtet werden?

Die Bahnstromversorgungsanlagen umfassen nur den Ausbau eines Unterwerks mit einem ATS in Geltendorf, den Neubau eines dezentralen Umrichterwerkes mit ATS bei Leutkirch, den Neubau von drei ATS in Buchloe, Memmingen und Hergatz sowie den Neubau einer Kuppelstelle in Lindau–Reutin, um künftig die Netze der ÖBB und DB AG verbinden oder trennen zu können.

Wie funktioniert das Autotransformatorensystem an der ABS 48?



Schematische Darstellung der künftigen Stromversorgung der ABS 48 unter Einsatz des Autotransformatorensystems (ATS): Das bestehende Unterwerk Geltendorf (links) wird durch zwei neue Einspeisepunkte ergänzt – das dezentrale Umrichterwerk Leutkirch (mitte) und die Kuppelstelle Reutin (rechts) an der österreichischen Grenze. Dazwischen verläuft die Feederleitung (rot), die durch die zehn Autotransformatoren gespeist wird.

Die Stromversorgung an der ABS 48 ist eine Kombination aus zentralen und dezentralen Elementen. Bei der Autotransformerspeisung wird die herkömmliche Speisetechnik der Oberleitung mit +15 Kilovolt durch eine Feederleitung mit -15 Kilovolt und die Autotransformatoren (ATS) ergänzt. Die Feederleitung wird parallel zur Oberleitung am Mast mitgeführt. Dadurch entsteht ein Spannungsunterschied von 30 Kilovolt. Die höhere Übertragungsspannung sorgt für eine verlustärmere Übertragung und eine qualitativ höherwertige Spannungshaltung. Dadurch können längere Strecken versorgt werden und es sind weniger Einspeisepunkte nötig. Sie bietet dabei die gleiche Versorgungssicherheit wie das herkömmliche Bahnstromnetz.

Das Unterwerk in Geltendorf wandelt den Bahnstrom mit 110-Kilovolt in Strom für die Oberleitungen mit 15-Kilovolt Spannung um.