

Januar 2020

Erster Sachstandsbericht

über die

**Einführung der E-Mobilität in den Linienbussen des ÖPNV der
Landeshauptstadt Kiel**

Gliederung

I.	Strategie und Beschlusslage	3
II.	Umsetzungsplan der KVG	3
III.	Umsetzungsplan der KVG im Vergleich mit den Vorgaben des 5. RNVP, der Vorabbekanntmachung der Absicht der weiteren Direktbeauftragung der KVG und dem E-Konzept der Landeshauptstadt Kiel	5
IV.	Investitionsaufwand / Lebenszykluskosten über 13 Jahre	7
V.	Bewertung des Projektes	14
VI.	Fahrzeug	16
VII.	Ladeinfrastruktur, Betriebshof, Endhaltestellen	19

Abkürzungen

CCS	Combined Charging System
CO, CO ₂	Kohlenmonoxid, Kohlendioxid
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
μ	Wirkungsgrad (eta)
Fzkm	Fahrzeugkilometer
GTL	Gas-to-Liquid - Treibstoff
GW	Gelenkwagen (18,75 Meter-Busse)
HC	Kohlenwasserstoffe
LIS	Ladeinfrastruktur
NKU	Nutzen-Kosten-Untersuchung
NO _x	Stickoxide (Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid)
NW	Normalwagen (12 Meter-Busse)
PM	Partikelmasse
RNVP	Regionaler Nahverkehrsplan der Landeshauptstadt Kiel
SBRS	Schaltbau-Refurbishment (Hersteller der LIS)
THG	Treibhausgase
VDL	Fahrzeughersteller

I. Strategie und Beschlusslage

- ▷ Erstes Strategiepapier der KVG
BV, KVG-Aufsichtsrat März 2016
GM, Drs. 0198/2016 April 2016
- ▷ Fortschreibung und strategische Zielsetzung der Landeshauptstadt Kiel
BV, KVG-Aufsichtsrat Dez. 2017
BV, Drs. 1226/2017 Jan. 2018
- ▷ Teilziel im 5. RNVP BV, Drs. 0197/2018 April 2018
- ▷ Weitere Strategien und Konzepte (Auszug):
Masterplan 100% Klimaschutz,
Climate Emergency Resolution,
Lärmaktionsplan

II. Umsetzungsplan der KVG

Auf Basis der für die KVG verfügbaren Fördermittel und nicht zuletzt wegen der Notwendigkeit zur Unterstützung der klimapolitischen Ziele der Landeshauptstadt Kiel wird folgender Umsetzungsplan verfolgt:

2017 bis 2019	Beschaffung von 33 Hybrid-Bussen (erl.)
2019	Umrüstung von 37 Bussen von Euro-V auf Euro-VI (erl.)
Bis Mitte 2020	Elektrifizierung Betriebshof: Mittelspannungsversorgung, Trafos, drei Schnellladepunkte (je 450 kW); parallel Neubau Hauptwerkstatt (bis Ende 2021); Installation von Ladeinfrastruktur an den Endhaltestellen ‚Wik, Kanal‘, ‚Rungholtplatz‘ und ‚Adalbertstraße‘.
Aug. 2020 bis Jan. 2021	Auslieferung von 30 E-Gelenkbussen (fünf je Monat) VDL - Typ SLFA-187/E
Bis Mitte 2021	Installation von Ladeinfrastruktur an der Endhaltestelle ‚Narvikstraße‘ und Inbetriebnahme von weiteren sechs Gelenkbussen.

Bis Ende 2021

Installation von Ladeinfrastruktur an der Endhaltestelle ‚Schwentinestraße‘ (Plan), Aufstockung ‚Rungholtplatz‘ auf vier Ladepunkte (Plan), ‚Kroog, Am Wellsee‘ (Plan) und 20 weiteren Ladepunkten (je 150 kW; Traversen; Leichtbaudach) und einem weiteren Schnellladepunkt auf dem Betriebshof Werftstraße.

Inbetriebnahme von weiteren neun E-Gelenkbussen und 20 E-Normalwagen (12 Meter).

Der Umbau der Endhaltestellen wird durch das Tiefbauamt der Landeshauptstadt Kiel geleistet und mit guter Unterstützung durch die weiteren Ämter und der SWKiel Netz GmbH begleitet.

Ausblick 2022/2023:

Erhöhung der Anschlussleistung des Betriebshofes und Sicherstellung der Redundanz mittels einer zusätzlichen Mittelspannungsstichleitung.

Installation von Ladeinfrastruktur auf dem Ostseekai und an der Endhaltestelle ‚Botanischer Garten‘ sowie ‚CITTI-Park‘.

Ausblick 2024 ff.:

Installation von Ladeinfrastruktur auf dem Betriebshof Diedrichstraße unter Berücksichtigung der dann verfügbaren Techniken (ggfs. Wasserstofftankstelle mit Elektrolysestation und Busse mit batterieelektrischen Antrieben mit Brennstoffzellen als Range-Extender).

Hierzu wird sich die KVG kurzfristig vor dem Hintergrund der ‚Norddeutschen Wasserstoffstrategie‘ der norddeutschen Bundesländer in Initiativen, wie beispielsweise dem ‚Norddeutschen Netzwerk Wasserstoffwirtschaft‘ einbringen; nicht zuletzt mit dem Ziel der Stärkung der eigenen Expertise, um geeignete Strategieentscheidungen für den dann anstehenden Zeitabschnitt bis 2027 treffen zu können.

Die KVG ist bereits derzeit schon im ministerienübergreifenden, bundesweiten Lenkungskreis und Arbeitskreis „Innovative Antriebe Bus“ vertreten.

III. Umsetzungsplan der KVG im Vergleich mit den Vorgaben des 5. RNVP, der Vorabbekanntmachung der Absicht der weiteren Direktbeauftragung der KVG und dem E-Konzept der Landeshauptstadt Kiel

Die nachstehende Tabelle 1a. weist die in dem 5. RNVP der Landeshauptstadt Kiel vorgegebenen Zielgrößen bezogen auf die Fuhrparkstruktur des ÖPNV in dem ‚Netz Kiel‘ aus (grau hinterlegte Felder). Diese Werte sind Mindestgrößen hinsichtlich der Einhaltung der prozentualen Anteile im Gesamtfuhrpark im Hinblick auf die ausgewiesenen Euro-Normen oder vollelektrisch betriebenen Linienbusse. Die separat eingerahmten Felder geben die Vorgaben wieder, die die Landeshauptstadt in der Vorabbekanntmachung der weiteren Direktbeauftragung der KVG mit den Verkehrsleistungen dieses ‚Netzes Kiel‘ definiert hat.

	Vorgaben gem. RNVP, Vorabbekanntmachung und E-Bus-Konzept					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Euro 3			0,0%			
Euro 4						
Euro 5					max. 11%	
Euro 6	40,0%				70,0%	
<i>davon Hybridantrieb</i>		15,0%			15,0%	
<i>Umrüstung E5 auf E6</i>						
E-Busse				20,0%	25,0%	30,0%
					19,0%	24,0%

Tabelle 1a.

Die Tabelle 1b. zeigt die realen Anteile der unterschiedlichen Standards bezogen auf den Fuhrpark der KVG, die die Verkehre des ‚Netzes Kiel‘ bedienen.

	Fuhrparkstruktur der KVG im 'Netz Kiel'					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Euro 3	6,3%	0,5%	0,5%			
Euro 4	10,2%	9,8%	9,6%	2,9%		
Euro 5	39,2%	37,0%	16,6%	15,2%	2,9%	2,9%
Euro 6	44,3%	52,7%	73,3%	67,2%	65,9%	65,9%
<i>davon Hybridantrieb</i>	5,7%	16,3%	17,6%	16,2%	15,9%	15,9%
<i>Umrüstung E5 auf E6</i>			19,8%	18,1%	17,8%	17,8%
E-Busse				14,7%	31,3%	31,3%
					31,3%	31,3%

Tabelle 1b.

Der Umsetzungsplan der KVG erfolgt somit – mit leichten Abweichungen - analog den Vorgaben des 5. RNVP bzw. der Vorabkennzeichnung und dem Konzept der Landeshauptstadt Kiel.

Zu den Abweichungen:

- Ein Fahrzeug mit Euro 3-Norm musste im Jahr 2019 wegen ungeplanter Leistungsausweitung im Fuhrpark verbleiben.
- Die im Jahr 2021 unterschrittene Quote für den Euro 6-Anteil ist bedingt wegen des wesentlich höheren Anteils der E-Busse.
- Im Jahr 2021 und 2022 liegt die mit E-Bussen erfüllte Quote zwar höher, als es die Vorgaben verlangen; dieses ist dem Umstand geschuldet, dass die KVG Förderungen von rd. 21,16 Mio. € gem. des Förderprogramms zur ‚Anschaffung von Elektrobussen im ÖPNV‘ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und von rd. 9,05 Mio. € gem. des Sofortprogramms ‚Saubere Luft gem. der Förderrichtlinie Elektromobilität‘ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur erhält und die Fristen für die Mittelverwendung fest terminiert sind (Ende 2021 bzw. Mitte 2022).
- Aufgrund der Verfügbarkeit dieser Fördermittel für die KVG wird der Umsetzungsplan noch ehrgeiziger verfolgt, als es die Vorgaben vorsehen. So ergibt sich eine leicht vorgezogene Ersatzinvestition der Fahrzeuge für die Beschaffungsjahre 2022 und 2023 und die Möglichkeit, Fahrzeugmehrbedarf aufgrund von Leistungsausweitungen mit der Beschaffung von E-Bussen zu berücksichtigen.
- Wegen längerer Planungs- und Lieferzeiten zur Umsetzung des KVG-Projektes E-Bus 1.0 musste eine leichte Verschiebung aus dem Jahr 2020 in das Jahr 2021 erfolgen.

Hinweis: Eine geringfügige Leistung im ‚Netz Kiel‘ wird durch das Busunternehmen Autokraft GmbH erbracht, da die ein- und ausbrechenden 500er und 900er Linien durch Autokraft und KVG gemeinsam bedient werden. In der Betrachtung der Fuhrparkstruktur in der Tabelle 1b. wurden die auf diesen Linien durch die Autokraft eingesetzten Fahrzeuge nicht in die Kalkulation einbezogen, da sich nur sehr marginale Änderungen ergeben würden; die Tabelle stellt lediglich die Fahrzeugstruktur der KVG dar. Wegen der aktuell laufenden Ausschreibung der ÖPNV-Linienleistung des Kreises Rendsburg-Eckernförde mit Betriebsaufnahme am 01.01.2021 werden diese Linien neu geordnet (siehe auch 5. RNVP) mit der Folge, dass das ‚Netz Kiel‘ ausnahmslos von der KVG bedient wird.

IV. Investitionsaufwand / Lebenszykluskosten über 13 Jahre

Die Projektschritte

- E-Bus 1.0 (36 GW / 4 Endhaltestellen / 4 Ladepunkte Betriebshof)
- E-Bus 2.0 (9 GW / 20 NW / 2 Endhaltestellen / 20 Ladepunkte Betriebshof)

umfassen unter Berücksichtigung von Fremdkapitalkosten über die Laufzeit von 13 Jahren ein Volumen in Höhe von rd. 69,9 Mio. €.

Das Projekt E-Bus 1.0 wird mit 80 % der Fahrzeugmehrkosten und mit 40 % der Investitionen der Ladeinfrastruktur in Höhe von 21,16 Mio. € seitens des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gefördert. Die Förderung des Projektschrittes E-Bus 2.0 seitens des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur ist geringer; beträgt mit ges. 9,05 Mio. € aber immer noch 40 % auf die Mehrkosten Bus und 40 % auf die Investitionen für die Ladeinfrastruktur.

In den geförderten Investitionen sind enthalten: 15-jährige Einsatzgarantie auf die Batterien, Ausrüstung Werkstatt, Schulungen und sonstige Projektkosten.

Zu dem o.g. Volumen sind weitere Projektkosten zu beaufschlagen, z.B. Bereitstellung Mittelspannung und Leitungsverlegungskosten, Bodengrundgutachten und Feststellung von Kampfmittelfreiheit, Dachkonstruktionen Betriebshof, stadtseitige Herrichtungskosten von Endhaltestellenbereichen und Wiederherstellungskosten Fahrbahnen und Haltepunkte, Anmietgebühren Adalbertstraße, Servicevertrag Ladeinfrastruktur etc.. Diese Kosten sind in den Förderprogrammen nicht zuwendungsfähig.

Inwieweit sich die LCC (Life-Cycle-Costs) des Betriebes batterieelektrisch betriebener Linienbusse von denen der Diesel-Busse unterscheiden, ist derzeit noch relativ schwer prognostizierbar, da sehr unterschiedliche Variablen, deren Entwicklungen momentan schwer einzuschätzen sind, wirken. Hier sind zum Teil nachträgliche, bzw. begleitende Betrachtungen über die Laufzeit der Fahrzeuge notwendig, um eine valide Gegenüberstellung geben zu können.

Als Beispiele für schwer prognostizierbare Kostenentwicklungen bei einer vergleichenden Darstellung sind u.a. folgende Komponenten zu nennen:

- Instandhaltungsaufwand,
- Dieselbeschaffungspreis (zzgl. CO₂-Steuer) und dessen Dynamisierung,
- Energiebezugspreis Strom (in Abhängigkeit von EEG-Umlage, Spitzenlastoptimierungsmöglichkeiten, Tarifierung, Dynamisierung, etc.),
- Haltbarkeit der Batterien (hier: Risikominimierung mit Vorfinanzierung einer 15-jährigen Garantie),
- Restwerte bzw. Second-Use-Möglichkeiten der Batterien,
- politische Rahmenbedingungen.

Den Investitionen und den Projektkosten gegenzurechnen sind:

[Die Einzelpositionen sind in der Tabelle 2 am Ende des Kapitels (S. 13) dargestellt. - die Nutzeneffekte sind mit negativem Vorzeichen versehen]

1. Investitionen für Ersatzbeschaffungen von Dieselnbussen

Die Investitionen für die Beschaffung von 45 Gelenkbussen und 20 Normalwagen; Invest. und Zins) werden substituiert wegen der Umsetzung der E-Bus-Strategie.

Dabei muss ein Vorteil der E-Busse wegen möglicher Laufzeitverlängerung um zwei Jahre auf 15 Jahre gewertet werden (bezogen auf Diesel-Busse).

Allerdings wird durch den Wegfall von Wagenumlaufoptimierungen und der Vorhaltung von erhöhter Reservekapazität ein Nachteil erzeugt (5 % des Investes nebst Zinsen). (s. Tab. 2, Ziffern 2, 3, 4)

2. Kraftstoff- / Energiebezugskosten

Bei Ersatz der Fahrzeuge durch batterieelektrisch betriebene Fahrzeuge wird der Verzicht auf Dieselmotorkraftstoff mit rd. 1,9 Mio. ltr. p.a. und der Bezug von elektrischer Energie mit ca. 7,5 Mio. kWh mit einer angenommenen Dynamisierungsrate zu kalkulieren sein. (s. Tab. 2, Ziffern 5, 7)

Zusätzlich zu den Dieselbeschaffungskosten werden selbige künftig mit einer CO₂-Steuer beaufschlagt: (2020: +11 ct./ltr.; 2025: +34 ct./ltr.; 2030: +57 ct./ltr.)

Diese zusätzliche Dynamisierung des Dieselbezugspreises um diese Beträge ist entsprechend zu berücksichtigen. (s. Tab. 2, Ziffer 6)

Die KVG bezieht zu 100% zertifizierten Strom aus regenerativen Energiequellen von den SWKiel AG und erfüllt eine grundlegende Aufgabe der Daseinsvorsorge im Interesse der Vermeidung von motorisiertem Individualverkehr.

Der Energiebezugspreis ist dennoch auch für ein ÖPNV-Unternehmen, wie die KVG, beaufschlagt mit der Umlage aus dem ‚Erneuerbare-Energie-Gesetz EEG‘ (2020: 6,756 ct./kWh). Sollte dieser Aufschlag für ÖPNV-Unternehmen, die E-Busse einsetzen, in Analogie zu Straßenbahn-Betrieben entfallen können, so wäre hieraus ein weiteres Potenzial zur Reduzierung der Betriebskosten gegeben; in der Tabelle 2 nachrichtlich ausgewiesen.

(s. Tab. 2, Ziffer 17)

3. Reduzierung Energiebezugspreis Strom:

Die Tarifierung des Energiemengenbezuges von den SWKiel AG ist auf die individuellen Belange der KVG und deren betrieblichen Umstände abzielen und mit den SWK zu verhandeln.

Parallel versucht die KVG die anwendbaren Optimierungsmöglichkeiten im Lade- und Lastmanagement so zu gestalten, dass die im Mittelspannungsnetz im Tagesgang auftretenden Lastspitzen nicht wegen hoher Leistungsabforderungen der Ladeinfrastruktur der Busse maßgeblich erhöht werden. Dass dieses möglichst realisiert werden kann, wird in zwei Ansätzen verfolgt:

3.1.

Im praktischen Betrieb soll auf Basis zu evaluierender Erfahrungen angestrebt werden, bei gleichzeitiger Sicherstellung der Betriebsabläufe auch in Störungsfällen die maximal möglichen Leistungsabforderungen der Bus-Batterien durch Steuerung der Leistungsverfügbarkeit der Ladepunkte zu minimieren bzw. zu limitieren (statisch).

3.2.

Die KVG nimmt gemeinsam mit den SWK, der CAU, Fraunhofer Institut, Seehafen Kiel, EBK, ABB und Schaltbau-Refurbishment SBRS (als Gast) an dem sogenannten Forschungsprojekt ‚KielFlex‘ teil. Im Bereich des Anwendungsfalls ‚Ladeinfrastruktur Bus‘ soll es Ziel sein, dass das Energieversorgungsnetz zusammen mit der Ladeinfrastruktur für die Busse kommuniziert – dergestalt, als dass Lastspitzen im Netz und hohe Lastabforderungen durch die Ladeinfrastruktur nicht gleichzeitig auftreten bzw. im Gleichzeitigsfall die Lastabforderungen limitiert werden (dynamisch).

4. Ökologischer und volkswirtschaftlicher Nutzen durch Reduzierung der lokalen Schadstoffemissionen:

4.1.

Quantifizierte Schadstoffmengenreduzierung aus E-Bus 1.0 und 2.0:
(berücksichtigt: Well-to-Tank-to-Wheel, Emissionen für Erzeugung und Bereitstellung Stromenergie)

Einsparpotenziale der KVG-Projekte E-Bus 1.0 und E-Bus 2.0:

CO₂ = 6.476.330 kg/a (mit Berücksichtigung der CO₂-Emission der Stromerzeugung im Energiemix)

NO_x = 22.079 kg/a

PM = 259,0 kg/a

CO = 6.242 kg/a

HC = 486 kg/a

Die Bepreisung von Kohlendioxid wird als wichtiges Instrument angesehen, um das Zwei-Grad-Ziel als freiwillige Vereinbarung zu erreichen, wie sie bei der UN-Klimakonferenz in Paris 2015 getroffen wurde. Laut einhelliger Expertenmeinung sind für das Erreichen der Pariser Ziele spätestens ab 2020 CO₂-Preise zwischen 40 US\$ und 80 US\$ notwendig, die bis 2030 auf 50 US\$ bis 100 US\$ steigen müssen. [The Guardian, 29.05.2017; Wikipedia „CO₂-Preis“]

Die „Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten“ [umweltbundesamt.de] aus dem Jahr 2016 hatte zum Ziel, einheitliche Maßstäbe und standardisierte Verfahren für fachliche Bewertungen umweltrelevanter Kosten zu entwickeln und die Transparenz von Schätzungen zu verbessern. Auf dieser Basis der Grundlagenstudie haben die Autoren nachfolgend die „Kostensätze (Best-Practice-Kostensätze) für Treibhausgase, konventionelle Luftschadstoffe, Lärm, Verkehr, Strom- und Wärmeerzeugung, Ökosysteme, Baustoffe, Stickstoff, Phosphor sowie die Emission von Treibhausgasen in der Landwirtschaft einschließlich der Auswirkungen von Landnutzungsänderungen“ abgeleitet. [Astrid Matthey, Björn Bünger: Kostensätze, Stand 02/2019]:

Es erfolgte die Empfehlung des Umweltbundesamtes zur Verwendung eines ‚Treibhausgas-Kostensatzes‘ (THG-Kostensatz) von 180 €₂₀₁₆/tCO_{2äq} für das Jahr 2016 - in der Zeitreihe fortgeschrieben: 205 €₂₀₃₀ bis 240 €₂₀₅₀.

Legt man diesen Wert für die ökologische/volkswirtschaftliche NKU (Nutzen/Kosten-Untersuchung) zugrunde – und nicht die wesentlich niedrigeren Beaufschlagungssätze aus der nationalen CO₂-Steuer oder dem Preis im EU-Emissionshandel i.H.v. 25 €/t - dann sind den Investitionskosten für das E-Bus-Projekt der KVG hieraus ca. 1,5 Mio. €/a gegenzurechnen.

Zur Verifizierung dieses Wertes können die „Umweltkosten pro Fahrzeugkilometer (innerorts)“ für den Linienbus aus der vorgenannten Studie [Astrid Matthey, Björn Bünger: Kostensätze, Stand 02/2019], Tabelle 14, S. 33, herangezogen werden. Hier werden Kosten/km für Treibhausgase und Luftschadstoffe in Höhe von 35,19 €-Cent₂₀₁₆/Fzkm ermittelt. Fahrleistungsbezogen für E-Bus 1.0 und E-Bus 2.0 ergibt sich der Wert von rd. 1,6 Mio. €/a.

Die Empfehlungen des Umweltbundes gehen noch einen wesentlichen Schritt weiter: „Da es sich bei Schäden durch den Klimawandel um generationsübergreifende Schäden handelt, empfehlen wir eine Sensitivitätsanalyse mit einem Wert von 640 €₂₀₁₆/tCO_{2äq} (670 €₂₀₃₀ bis 730 €₂₀₅₀), da dieser eine Gleichgewichtung der Nutzen heutiger und zukünftiger Generationen widerspiegelt.“ [(a.a.O, S. 9)]. Hier wird angenommen, dass Schäden, die in der nächsten Generation (in 30 Jahren) und in der übernächsten Generation (in 60 Jahren) ursächlich der

in der heutigen Zeit produzierten Schadensereignisse entstehen, nicht abgeschwächt sind, sondern zu 100 % wirksam gerechnet werden.

Verglichen mit den „Umweltkosten pro Fahrzeugkilometer... – gesamt“ [a.a.O., Tab. 16, S. 43] ergibt sich für den Linienbus (Diesel) in dem Bezugsjahr 2016:

gem. THG-Kostensatz 180 € ₂₀₁₆ /tCO _{2äq}	→ ca. 1,17 Mio. € ₂₀₁₆
gem. THG-Kostensatz 640 € ₂₀₁₆ /tCO _{2äq}	→ ca. 4,14 Mio. € ₂₀₁₆

Der deutlich höhere THG-Kostensatz i.H.v. 640 €₂₀₁₆/tCO_{2äq} wird in nachfolgendem Kapitel V. – Bewertung des Projektes – gesondert betrachtet (S. 14).

Der analoge Berechnungsfaktor für CO₂-Minderungen in der sog. ‚Standardisierten Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personennahverkehrs – Version 2016‘ [Bundesverkehrsministerium; Intraplan Consult] wird mit 231 €₂₀₁₆/tCO_{2äq} angesetzt. Da im Rahmen der Bewertung dieses Projektes E-Bus 1.0 und 2.0 eine Methodenkonformität zur klassischen NKU verfolgt wird, wird in der nachstehenden Tabelle 2 jeweils der THG-Kostensatz in Höhe von 231 €₂₀₁₆/tCO_{2äq} (undynamisiert) zum Ansatz gebracht.

(s. Tab. 2, Ziffer 10)

Der Berechnung der weiteren Umweltkosten erfolgt für NO_x-Emission mit 17.930 €₂₀₁₆/t und für den Ausstoß von Partikeln (PM_{2.5}) mit 58.400 €₂₀₁₆/t [a.a.O., Tab. 2, S. 13].

(s. Tab. 2, Ziffer 13, 14)

4.2.

Hervorzuheben ist zudem insbesondere das Lärminderungspotenzial, welches wegen des Ersatzes von relativ lauten Dieselnissen durch E-Busse gehoben wird. Der monetarisierbare Nutzen kann an dieser Stelle jedoch nicht abgebildet werden.

5. Weitere ökologische und volkswirtschaftliche Wechselwirkungen:

Zu betrachten ist auch, wie sich sonstige Umweltschäden im Vergleich von Rohölgewinnung/Dieselherstellung versus Schürfsprozesse der metallurgischen Rohstoffe/Batterieherstellung darstellen.

5.1.

Die KVG verpflichtet die Fahrzeughersteller, bei deren Einkaufs- und Produktionsprozessen nachhaltig die Regeln der Verantwortlichkeit (Responsive Produktion in Bezug auf Sozialverträglichkeit, Arbeitsschutz und Umweltverträglichkeit) zu beachten und dieses zu bestätigen.

5.2.

Auch sind Möglichkeiten des ‚Second-Use‘ von Batterien, sowie deren Recyclingfähigkeit darzustellen. Hinweis: Die Recyclingquoten für die Rückgewinnung der eingesetzten Rohstoffe liegen absehbar bei ca. 95 %.

5.3.

Zu werten ist zudem, dass bei der Förderung von Erdöl Themen wie ‚Fracking‘, ‚Auswaschen von Ölsänden‘, ‚Tiefseebohrungen‘ etc. immer mehr in den Vordergrund treten, und dass ein Recycling von verbrauchtem Diesel nicht möglich ist – wenngleich dieser direkte Vergleich etwas ‚hinkt‘, da die Batterie eigentlich nur das Speichermedium darstellt.

Die Bewertungen zu 5.2. und 5.3. sind im Rahmen dieses Sachstandberichtes zu umfangreich und noch recht ungesichert. Daher werden hierüber an dieser Stelle keine monetären Angaben getätigt.

5.4.

Genauer zu betrachten ist das CO₂-Äquivalent (der sog. „CO₂-Rucksack“) je produzierter Energiemengenkapazität von Batterien oder deren Masseinheit: Die sog. „Schweden-Studie“ [ivl.se] oder „Sinn-Studie“ wies vormals 145 bis 195 €/kWh aus. Dieser Wert konnte in nachfolgender Studie nach unten korrigiert werden, auf Werte zwischen 61 bis 146 €/kWh. Diese Werte sind allerdings immer noch nicht unbedingt valide und einer starken Anpassung nach unten unterworfen, nicht zuletzt weil die Batteriehersteller weltweit das Ziel verfolgen, ihre Produktion mit der Verwendung von regenerativen Energien auf CO₂-Neutralität umzustellen.

(s. Tab. 2, Ziffer 11)

Die Produktion und der Transport von Dieselmotorkraftstoff sind hingegen weiterhin mit einem 20%-igen Zuschlag an CO₂-Emissionsäquivalent zu werten [Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt und Energie].

(s. Tab. 2, Ziffer 12)

Umweltkosten für die Erzeugung der verwendeten, regenerativen Energie sind ebenfalls zu beachten, wenngleich zu vernachlässigen. In der Berechnung der CO₂-Reduzierung für Treibstoffe (s. Tab. 2, Ziffer 10) wird die für die Stromerzeugung im ‚Energimix‘ bereits berücksichtigt.

Tabelle 2 - Zusammenfassung Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:

	<u>LCC 13 J.</u>	
1	Abschreibung u. Zinsaufwendungen für E-Bus und Ladeinfrastruktur (LIS); E-Bus 1.0 und 2.0	69.851.019
2	Beschaffung Dieselbusse	-21.401.250
3	Laufzeitverlängerung E-Busse	-8.995.510
4	Nachteil Umlafoptimierung und erhöhter Reservebestand	2.923.541
5	Wegfall Dieselbeschaffung	-27.438.333
6	Wegfall CO ₂ -Steuer auf Dieseldieselkraftstoff	-10.333.590
7	Strombezug	16.435.419
8	Service- und Wartungsvertrag LIS	1.690.000
9	Zwischensumme I (betriebswirtschaftlich o. Förderung):	22.731.296
10	NKU-Parameter: CO ₂ -Kosten Diesel ./.. Strommix	-19.447.428
11	NKU-Parameter: CO ₂ -Kosten Batterieherstellung	1.547.896
12	NKU-Parameter: CO ₂ -Kosten Dieselherstellung und Transport	-3.889.486
13	Umweltkosten NO _x	-5.151.289
14	Umweltkosten PM	-196.633
15	Zwischensumme II (NKU-Effekt):	-4.405.643
	<u>nachrichtliche Positionen:</u>	
16	Förderung:	-30.210.000
17	bei Wegfall EEG-Umlage auf Strombezug	-6.593.687
18	Optimierung Energiebezugspreis	nicht beziffert
19	Instandhaltungsdifferenz Dieselbus / E-Bus	nicht beziffert
20	NKU-Parameter: Lärm / Umweltkosten für Rohölgewinnung	nicht beziffert
21	Second-Use / Recycling	nicht beziffert

V. Bewertung des Projektes

Bei reiner Betrachtung der auf die KVG bezogenen wirtschaftlichen Effekte wird ein für die KVG deutlicher Zuschussbedarf ausgewiesen.

Dieser Zuschussbedarf wird durch eine unterstellte Laufzeitverlängerung der Fahrzeuge von 13 auf 15 Jahre erheblich reduziert.

Wegen der jetzt schon kalkulierbaren Erhöhung des wegfallenden Beschaffungsaufwandes von Dieselmotoren (bedingt durch die eintretende CO₂-Steuer) erhöht sich der Vorteil des Projektes nochmals erheblich.

In Summe verbleibt aber doch noch ein deutlicher, betriebswirtschaftlicher Nachteil von 22,7 Mio. € über 13 Jahre Laufzeit, der wiederum mit den bereitgestellten Bundesfördermitteln ausgeglichen werden kann.

Auch ohne Einbeziehung der Fördermittel weist das Projekt wegen der vermiedenen Schadstoff- und Treibhausgasemissionen einen gesamtwirtschaftlich höheren monetarisierten Nutzen aus, als dem der Einsatz von finanziellen Mitteln entgegensteht – im Saldo 4,406 Mio. €.

Damit ist das Projekt gut begründet.

Werden nun die globalen Klimaschutzmaßnahmen in der Weise tatsächlich wirken, als dass einschneidende Klimaeffekte vermieden werden können, so kann auch diese projektbezogene Vermeidung von Treibhausgas-Emissionen als ein Beitrag hierfür gewertet werden und daher die durch die Studie des Bundesumweltamtes ermittelten höheren Kostensätze für die vermiedenen CO₂-Emissionen in Höhe von 640 €₂₀₁₆/tCO_{2äq} (vergl. Kap. 4.1 und Tab. 2, Ziffern 10, 12) bei den Berechnungen zugrunde gelegt werden:

Die wegen Unterlassung von Maßnahmen resultierenden Schäden treten bei den nachfolgenden Generationen (30 Jahre, 60 Jahre) nun nicht mehr in voller Wirksamkeit und Kosten (100 % Sensitivität) ein; die projektbezogene Vermeidung von Emissionen erreicht damit ihre entsprechende Wertigkeit.

Somit ist der saldierte, ökologisch-ökonomisch volkswirtschaftliche Nutzen um rd. 41,3 Mio. € über die Projektlaufzeit von 4,406 Mio. € auf rd. 45,7 Mio. € zu erhöhen.

Diese Methodik der NKU-Betrachtung für sich stehen zu lassen, ist nur ein singulärer Wertungsansatz, der ergänzt werden muss:

1. Die in den angesetzten Kosten der KVG-Projekte E-Bus 1.0 und E-Bus 2.0 dargestellten Beschaffungskosten für die Fahrzeuge und für die Ladeinfrastruktur sind sehr hoch. Die öffentliche Hand muss bereit sein, diese Kosten zu tragen, damit die Industrie mit dieser Refinanzierung ihrer Aufwendungen für bereits getätigte Entwicklungsarbeit ebenfalls bereit bleibt, weiterhin F&E stringent zu betreiben, um noch effizientere und effektivere Technologien zu schaffen, die die Betreiber, wie die KVG, dann wiederum zum Nutzen der Gemeinschaftsaufgabe einsetzen können.

2. Die Förderung dieser Projekte der Umstellung von Busflotten zu elektrotechnischen Antriebsformen ist wegen des Nachweises eines NKU-Faktors $>1,0$ wirtschaftlich bestätigt. Wegen der andauernden Handlungsnotwendigkeit sollten die kommunalen Gebietskörperschaften, in ihrer Funktion als ÖPNV-Aufgabenträger, mit nachhaltigen und wirksamen Förderungen seitens des Bundes und der Länder in die Lage versetzt werden, diese Aufgabe mit den in ihren Bereichen agierenden ÖPNV-Unternehmen auch umsetzen zu können. Die derzeitigen Förderkulissen lassen einen ersten Schritt in den von NO_x -Emissions-Überschreitung betroffenen Städten, die von der zurzeit bereitstehenden Förderung partizipieren, zwar zu, sind allerdings weder ausreichend noch nachhaltig genug.

VI. Fahrzeug

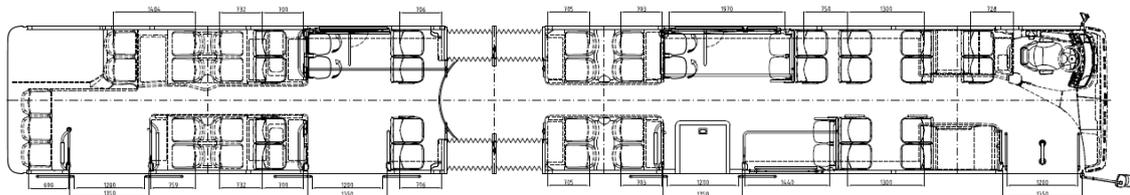


Abbildung 1

Nach erfolgter, europaweiter Ausschreibung konnte VDL aus den Niederlanden den Zuschlag für die 36 Gelenkwagen (GW) - plus Option für 9 weitere GW - erhalten.

Die Fahrzeuge sind 18,75 Meter lang, mit vier Türen ausgestattet und weisen das gleiche Innenraumkonzept vor, welches die KVG bereits seit einigen Jahren verfolgt.

Batterie-Technologie:

- LpCO (HPC - high-power / high-charge);
- 169 kWh brutto; 135 kWh netto (verfügbare Energiemenge; end-of-life);
- 500 - 700 V DC; ladbar mit 390 -450 kW;
- flüssigkeitsgekühlt; Gewicht ca. 3.000 kg;
- Leistungselektronik und E-Motor: Siemens (mit $\mu = \text{ca. } 98 \%$);
- Verbrauch: rd. 2,0 kWh/km bei Außentemperaturen von -10°C oder $+35^{\circ}\text{C}$
rd. 1,4 kWh/km bei Außentemperaturen von $+20^{\circ}\text{C}$

Der Ladearm mit Ladekopf (Pantograph) ist auf dem Dach des Fahrzeuges über der ersten Achse installiert. Die Ladung erfolgt ausnahmslos über diesen

Ladekopf, der sich beim Hochfahren in eine Ladehaube eindockt; Ladung über einen CCS-Stecker mit bis zu 150 kW ist möglich, allerdings nur als Rückfallebene vorgesehen.



Abbildung 2

Die Batterien mit ihrem Managementsystem sind in der Lage, ohne Zuführung von externer Energie die Funktionalitäten, die sich in der Abstellung ergeben, aus sich heraus selbst durchführen zu können:

- Balancing und Kalibrieren der Zellen;
- Klimatisieren der Batterien zum Erhalt der optimalen Kerntemperatur;
- Erhaltungsladung des 24-Volt-Systems;
- Vorkonditionieren des Fahrgastinnenraumes vor dem Ausrücken.

Verschiedene Maßgaben, die für die Systementscheidung eine wesentliche Rolle spielten, haben diesen Fahrzeugtyp mit dieser elektrotechnischer Ausrüstung präferieren lassen:

- hoher Gelenkwagenanteil im Fuhrpark;
- Fahrzeugumläufe überwiegend 200 bis 350 km;
- sehr unterschiedliche Linienlängen; Verknüpfungen von Linien; enge Wendezeiten; nicht jede Endhaltestelle mit Ladeinfrastruktur möglich;
- hoher spezifischer Energieverbrauch; Staugefährdung; flexibler Einsatz;
- Betriebshof Werftstraße ist mit E-Bussen zu bestücken (Vorgabe Baugenehmigung / Schallgutachten); jedoch ist die Abstellhalle denkmalgeschützt;
- plausible und sinnhafte Losgröße der Projekte E-Bus 1.0 und E-Bus 2.0.

Demgegenüber ist ein Abgleich hinsichtlich der technischen Möglichkeiten und Variationen, die zum Beschaffungszeitpunkt verfügbar sind, anzustellen:

- Variante ‚Depotladung‘ versus ‚Gelegenheitslader‘ (Opportunity-Charger an Endhaltestellen); Ladesysteme;
- Leistungsfähigkeit der Batterien und weitere Merkmale:
 - Energiedichte (= Energiemenge je Gewichtseinheit);
 - Aufnahmefähigkeit der elektrischen Ladeleistung (c-Rate);
 - Zyklenfestigkeit (Lebensdauer unter den Einsatzbedingungen);
 - Temperaturbeständigkeit / Sicherheit / ‚Nicht-Brennbarkeit‘;
 - Garantiebedingungen;
 - Umweltaspekte (Rohstoffe; ‚CO₂-Rucksack‘; Second-use-Möglichkeiten, Recyclebarkeit; Responsible Production).

Hier stellt sich insbesondere heraus, dass nur sehr wenige, spezielle Zelltypen hinsichtlich ihrer chemikalischen Zusammensetzung für den Einsatz unter den Bedingungen, wie sie sich für die KVG im Projekt E-Bus 1.0 aber auch im Projekt E-Bus 2.0 darstellen, geeignet sind.

Auch hier bleibt es zu hoffen, dass sich die Technologie weiter entwickelt, um Preis/Leistung auf diesem Sektor zu verbessern, und insbesondere, um weitere Möglichkeiten bei der anstehenden Systemscheidung für das Projekt E-Bus 3.0 zu eröffnen.

Hinweis: Um eine möglichst hohe betriebliche Sicherheit zu gewährleisten, sind die Fahrzeuge noch mit Zusatzheizungen ausgerüstet, die bei tiefen Minustemperaturen zuschalten können. Die KVG ist bestrebt, anstelle von Diesel das wesentlich emissionsärmere GTL (Gas-to-Liquid) zu verwenden. Die Zusatzheizungen und der Hochvoltbereich sind mit einer aktiven Feuerlöscheinrichtung gesichert, um höchstmögliche Gefährdungsvermeidung über das Gesamtfahrzeug zu bieten.

Die Fahrzeuge, die für das Projekt E-Bus 2.0 noch auszuschreiben sind (20 Normalwagen nebst Ladeinfrastruktur) sollen vornehmlich auf dem Betriebshof Werftstraße geladen werden. Da jedoch auch hier der Einsatz über einen ganzen Betriebstag ohne Nachladung nicht immer möglich sein wird - insbesondere dann, wenn lange Umläufe nicht gebrochen werden sollen -, wird es notwendig sein, weitere Endhaltestellen (z.B. ‚Botanischer Garten‘, ‚Ostseekai‘, ‚Kroog, Am Wellsee‘, CITTI-Park) mit Ladegeräten auszustatten. Daher werden auch diese Fahrzeuge wieder einen optimalen Kompromiss hauptsächlich zwischen hoher Energiedichte und c-Rate darstellen müssen. Die Fahrzeuge werden daher sowohl eine lange Reichweite ausweisen müssen, als auch schnellladefähig sein müssen und ebenso zwecks Kompatibilität im Regelbetrieb ausnahmslos mit Pantographen auf dem Dach ausgestattet sein.

Die Beschaffung dieser Fahrzeuge und der Ladeinfrastruktur wird beginnend ab März 2020 in einer mehrstufigen, europaweiten Ausschreibung mit Teilnahmewettbewerb nach SektVO gestartet.

VII. Ladeinfrastruktur, Betriebshof, Endhaltestellen

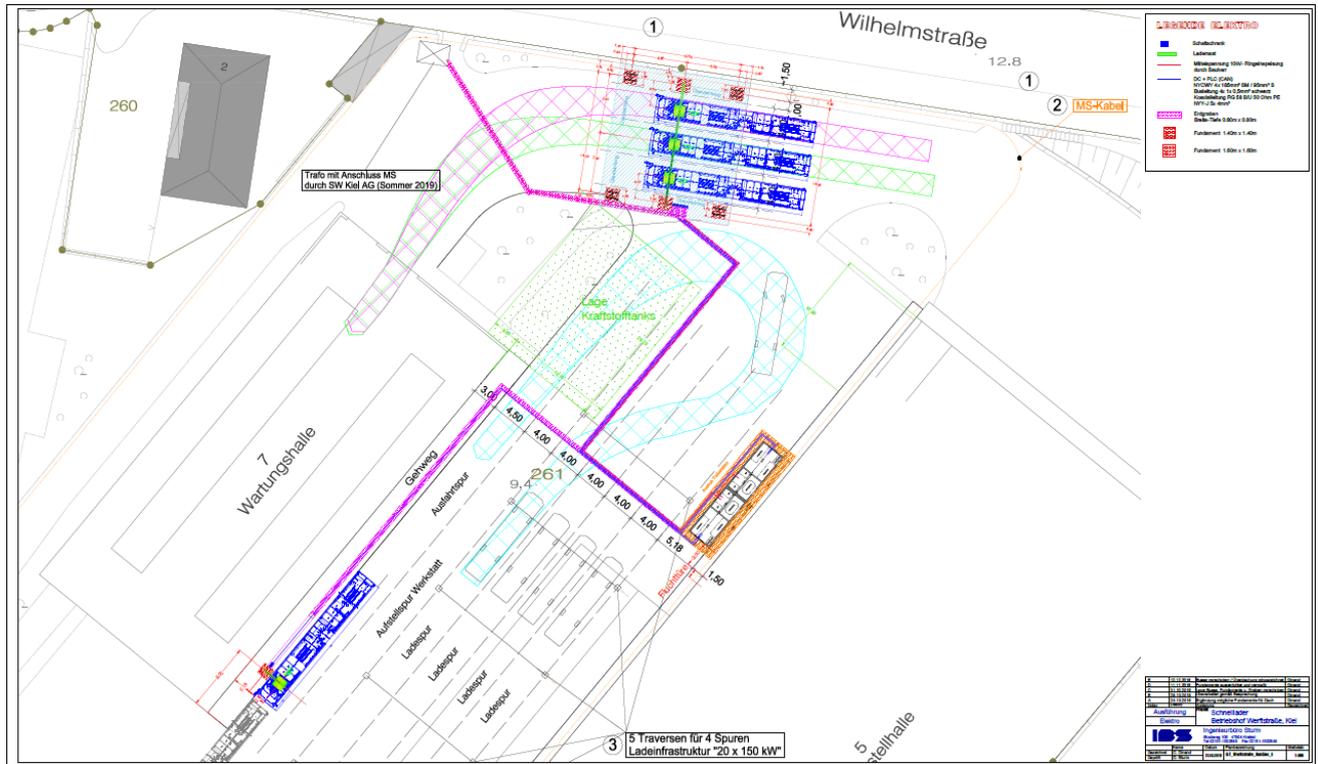


Abbildung 3



Abbildung 4

Auf den vorstehenden Abbildungen 3 und 4 ist die Ladeinfrastruktur auf dem Betriebshof Werftstraße für das Projekt E-Bus 1.0 (Abbildung 3) und das Projekt E-Bus 2.0 (Abbildung 4) dargestellt.

Für E-Bus 1.0 werden drei High-Power-Charger unter einer überdachten Traverse für das Schnellladen der 45 Gelenkbusse zwischen Abstellung und dem sog. ‚Fahrfertig machen‘ in der Wartungshalle vorgesehen. Die Fahrzeuge werden hier nachts parallel und nacheinander in einem Vorgang von 15 bis 30 Minuten vollgeladen, um danach in der Abstellhalle wieder abgestellt zu werden. Morgens vor dem Ausrücken werden die Fahrzeuge an der einzelnen Position auf der Ausrückspur nochmals über einen Zeitraum von wenigen Minuten vollgeladen, sofern Energie aus den Batterien wegen Erfüllung der in Kap. VI. auf S. 17 beschriebenen Funktionen entnommen sein sollte. Depotladung ist hier nicht vorgesehen.

Bei dem Projekt E-Bus 2.0 (20 Normalwagen mit Depotladung, nebst zwei Endhaltestellen) werden fünf Traversen über vier Fahrspuren errichtet, an denen die Ladehauben befestigt sind. Die Ladung erfolgt hier mit bis zu jeweils 150 kW.



Abbildung 5 (Beispiel Brüssel)

Um hier wegen längerer Abstellzeiten einen adäquaten Wetterschutz zu bieten, ist eine Überdachung in Leichtbauweise notwendig und mit Photovoltaik vorgesehen.

Auf nachfolgender Abbildung 6 ist die Endhaltestelle ‚Rungholtplatz‘ nach Umbau und Ausstattung mit zwei Ladepunkten nebst zugehörigem Gebäude für die Ladetechnik dargestellt. Das Tiefbauamt der Landeshauptstadt Kiel beginnt im Frühjahr 2020 mit der Umgestaltung des Gesamtbereiches. Zeitlich parallel errichtet der Hersteller der Ladeinfrastruktur, Schaltbau-Refurbishment SBRS, das Gebäude und die Masten für die Ladehauben. Im Anschluss kann die Linie 81 mit E-Bussen nach deren Indienststellung besetzt werden. Dargestellt sind die vier Ankunftshaltestellen mit zwei Ladepositionen. Die gemeinsame Abfahrtshaltestelle

befindet sich abgesetzt in der Straße ‚Rungholtplatz‘ mit Mobilitätsstation und Fahrradabstellanlage (in der Zeichnung nicht abgebildet).

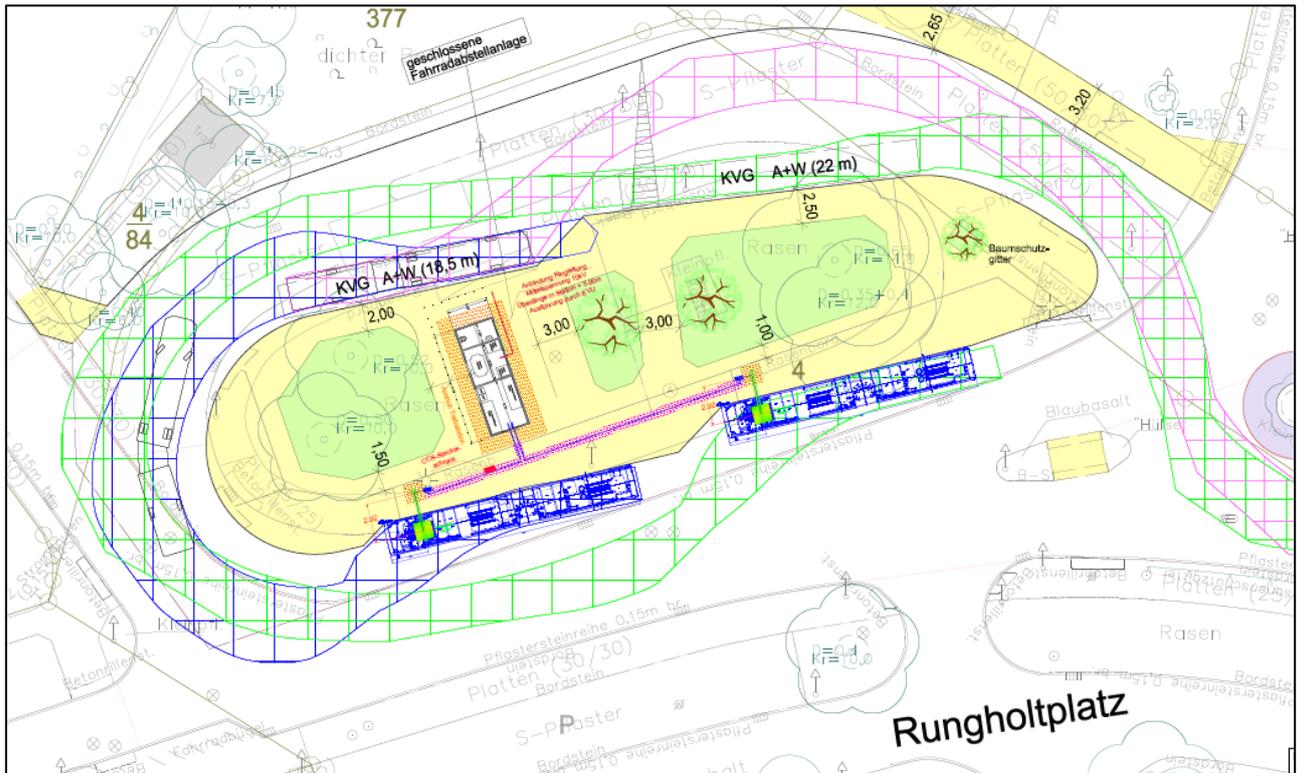


Abbildung 6

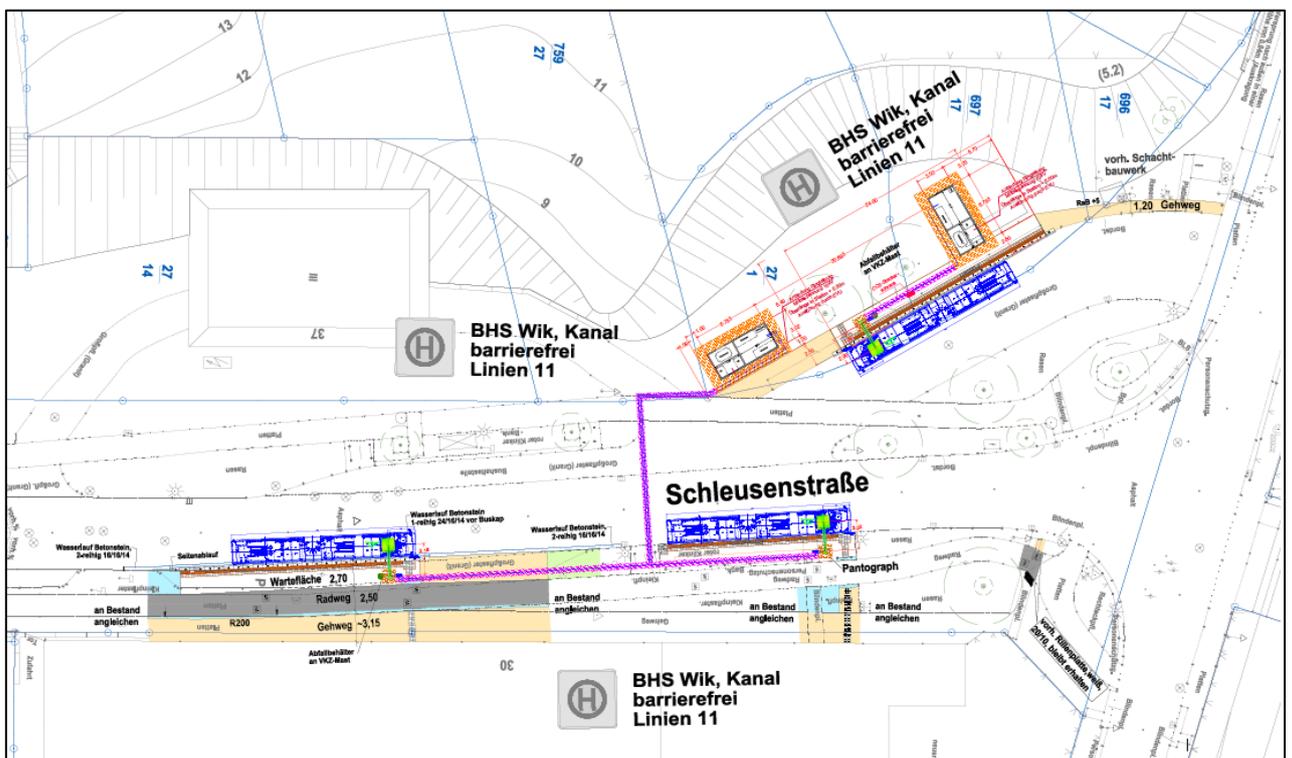


Abbildung 7

Auf der Abbildung 7 ist die jetzige Endhaltestelle ‚Wik, Kanal‘ in der Schleusenstraße nach Umbau dargestellt. Auch hier wird der Umbau durch das Tiefbauamt der Landeshauptstadt Kiel koordiniert und durchgeführt. Es gilt, eine zusätzliche Ankunftshaltestelle zu errichten und die drei Ladepunkte sowie die Gebäudehüllen mit der Ladetechnik zu installieren. Die gemeinsame Abfahrtshaltestelle bleibt bestehen. Nach Fertigstellung im Spätsommer 2020 kann die Linie 11 mit E-Bussen besetzt werden.

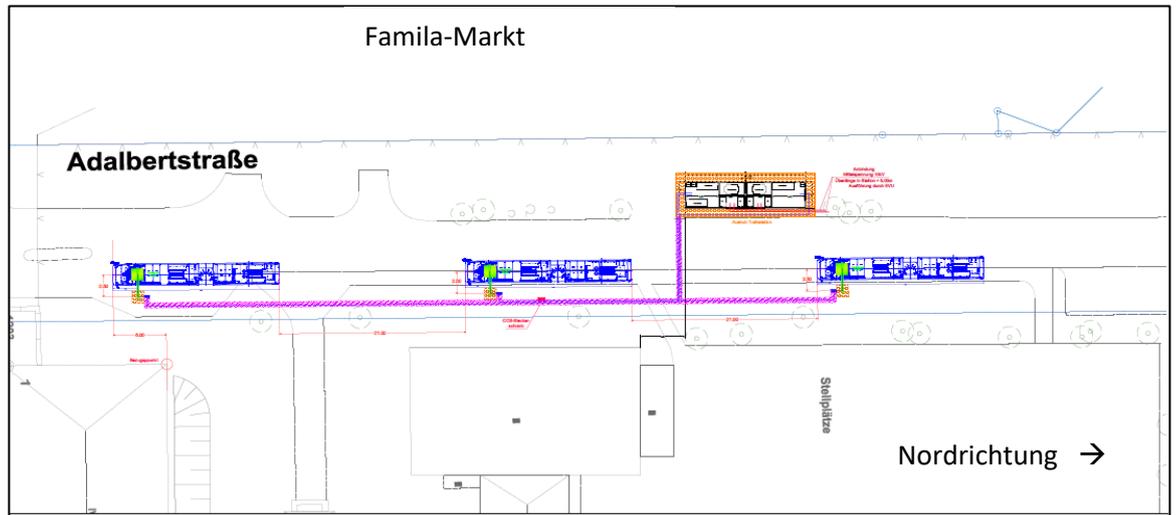


Abbildung 8

Die jetzige Endhaltestelle ‚Wik, Herthastraße‘ wird als Kehre für die Linien 6 und 32 aufgegeben, da die Ladeinfrastruktur an einen geeigneteren Platz verlegt werden sollte. Hierfür werden die Linienfahrwege verlängert: über den Schleiweg in die Adalbertstraße auf dem zu diesem Zweck seitens der Landeshauptstadt Kiel angemieteten Wegeabschnittes von der BIMA (Bundesanstalt für Immobilienaufgaben).

Die Abbildung 8 zeigt den Abschnitt, wo die drei Ladepunkte errichtet werden und der Aufenthalt für das Fahrpersonal ermöglicht wird.

Die Abfahrtshaltestelle, bzw. erste Haltestelle der Linienwege der Linien 6 und 32 wird die jetzige Haltestelle ‚Petruskirche‘ sein.

Über den Standort ‚Narvikstraße‘, der im Jahr 2021 mit Ladeinfrastruktur für die Linie 31 versehen wird, sowie über die möglichen, weiteren Endhaltestellen liegen noch keine Entwurfsplanungen vor. Dieses kann in Form eines Zweiten Sachstandberichtes nachgeholt werden.



Hersteller der Ladeinfrastruktur: Schaltbau-Refurbishment GmbH

Nachfolgend werden weitere Visualisierungen an diesen Ersten Sachstandsbericht angehängt:

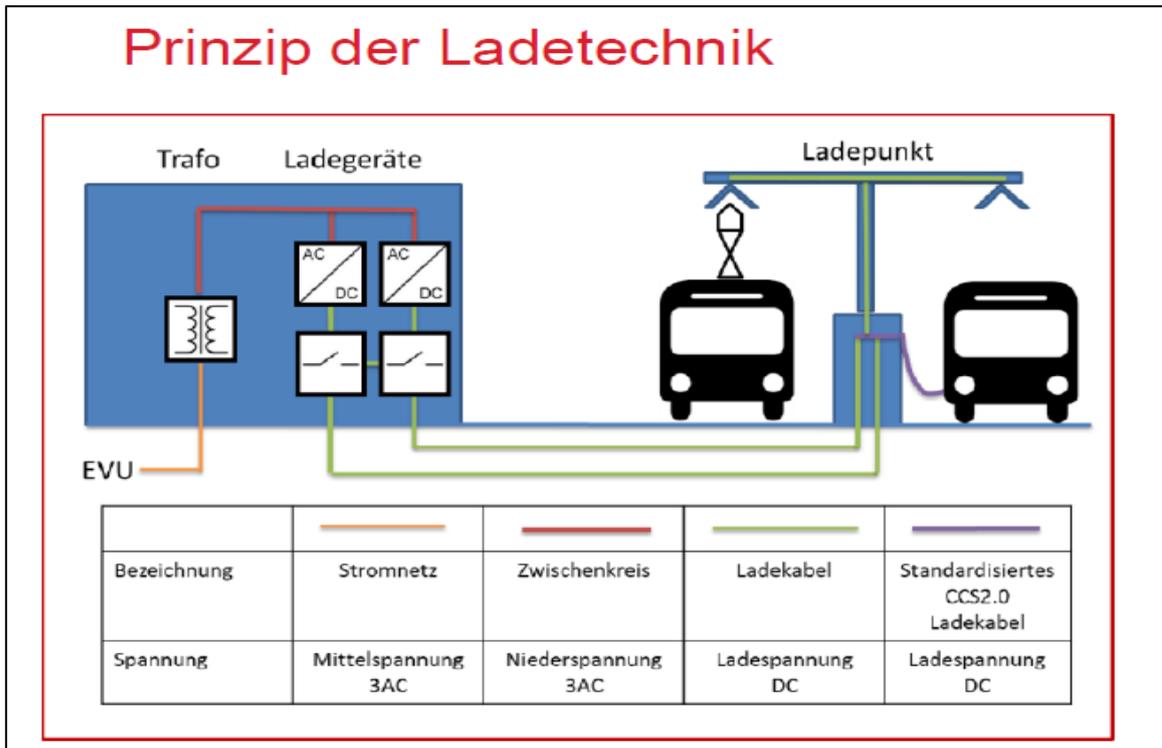


Abbildung 9

Der Transformator ist an die Mittelspannung (10 kV) angeschlossen und stellt die Niederspannung für die Ladegeräte zur Verfügung. Die Ladegeräte sind mit den Masten und Hauben verbunden, in die sich der Pantograph des Busses „andockt“. Ladespannung und Ladestrom liegen bei 700 V und 600 A Gleichspannung/-strom. Vor dem Ladevorgang erfolgen die Kommunikation zwischen Bus und Lader sowie ein Sicherheits-Check.



Abbildung 10
VDL-E-Busse unter Ladehauben



Abbildung 11
Dachbereich am Arbeitsstand (,zweite Ebene')

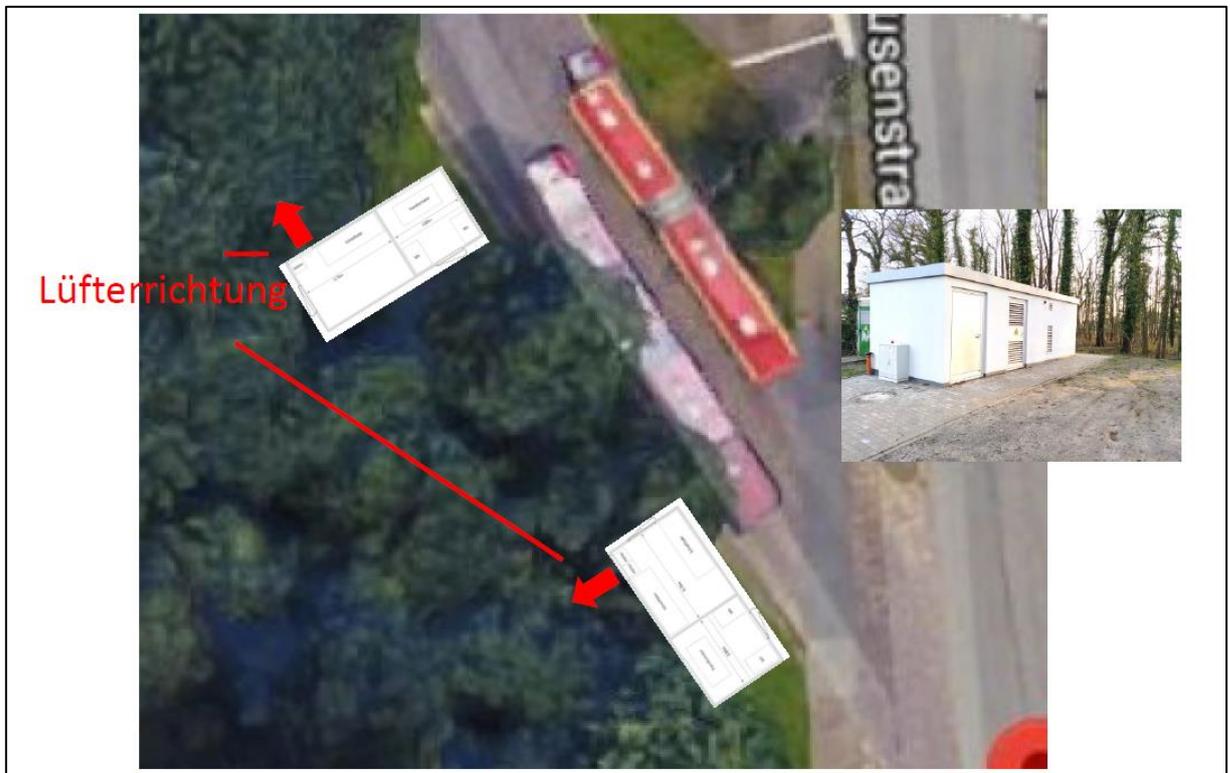


Abbildung 12
Integration der Ladeinfrastruktur
(Beispiel ,Wik, Kanal')

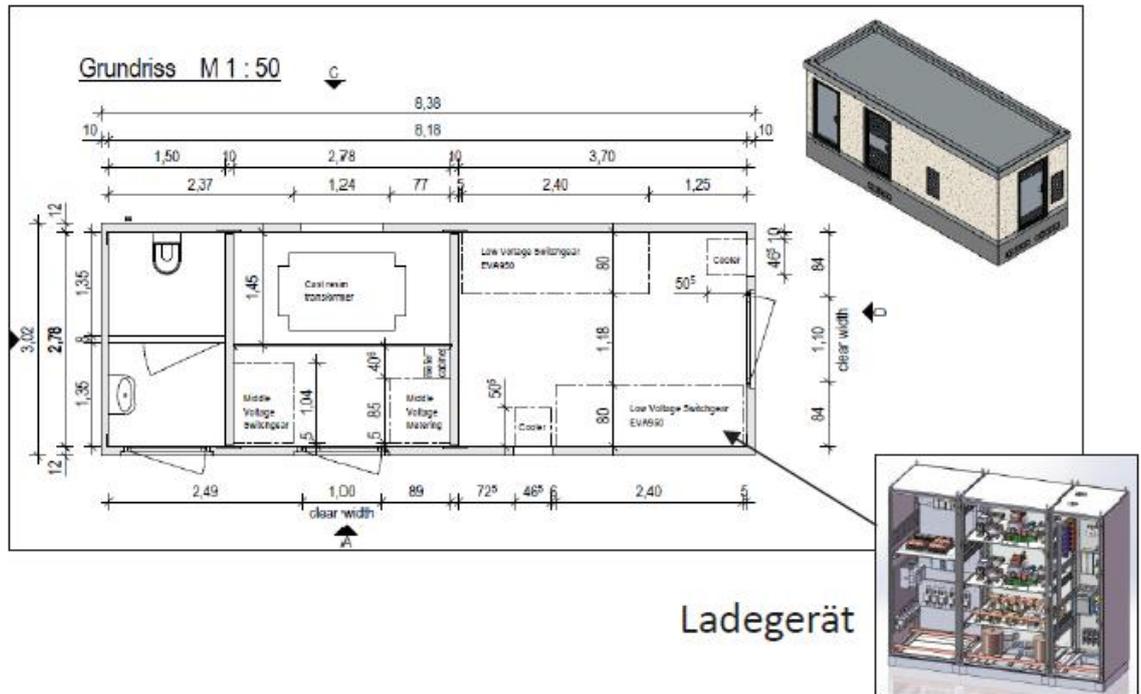


Abbildung 13

Die Ladetechnik mit den Kühlanlagen und der Mittelspannungsanbindung inkl. Transformator ist im Inneren eines Typ-geprüften und mit Störlichtbogen-Konformität ausgestatteten Betonfertigungskörpers untergebracht. – wahlweise mit eingebautem WC für das Fahrpersonal.



Abbildung 14
Graffiti-Kunst an einer Beton-Einhausung (Beispiel Münster)



Abbildung 15

- Für einen Ladepunkt wird ein Mast aufgestellt – bei mehreren Ladepunkten nebeneinander eine Traverse. Die Masten und Traversen sind für Windlastzone 3 ausgelegt. Beim Andocken des Pantographen an die Hauben entstehen Kontaktgeräusche, die durch eine Dämmung an der Haube minimiert werden. Für die Ladeinfrastruktur sind runde Masten mit dem Farbton DB 703 geplant.
- Bei allen Installationen spielt die Einbringung in das vorhandene Stadtbild eine wichtige Rolle. Die untere Denkmalschutzbehörde ist involviert.
- Der Kampfmittelräumdienst ist eingebunden.
- Der notwendige Schallschutz ist berücksichtigt.
- Alle Anlagen sind im Vorfeld abgenommen und typgeprüft und verfügen über Standsicherheitsnachweise.
- Alle Richtlinien für Brandschutz sowie EMV (elektromagnetische Verträglichkeit) werden eingehalten.
- Alle Anlagen sind auf Energie-Effizienz optimiert.
- Alle Anlagen verfügen über ein sicheres Not-Aus-Konzept.
- Die Busse können während des Ladevorganges betreten werden und verfügen über zusätzliche Brandschutzeinrichtungen.

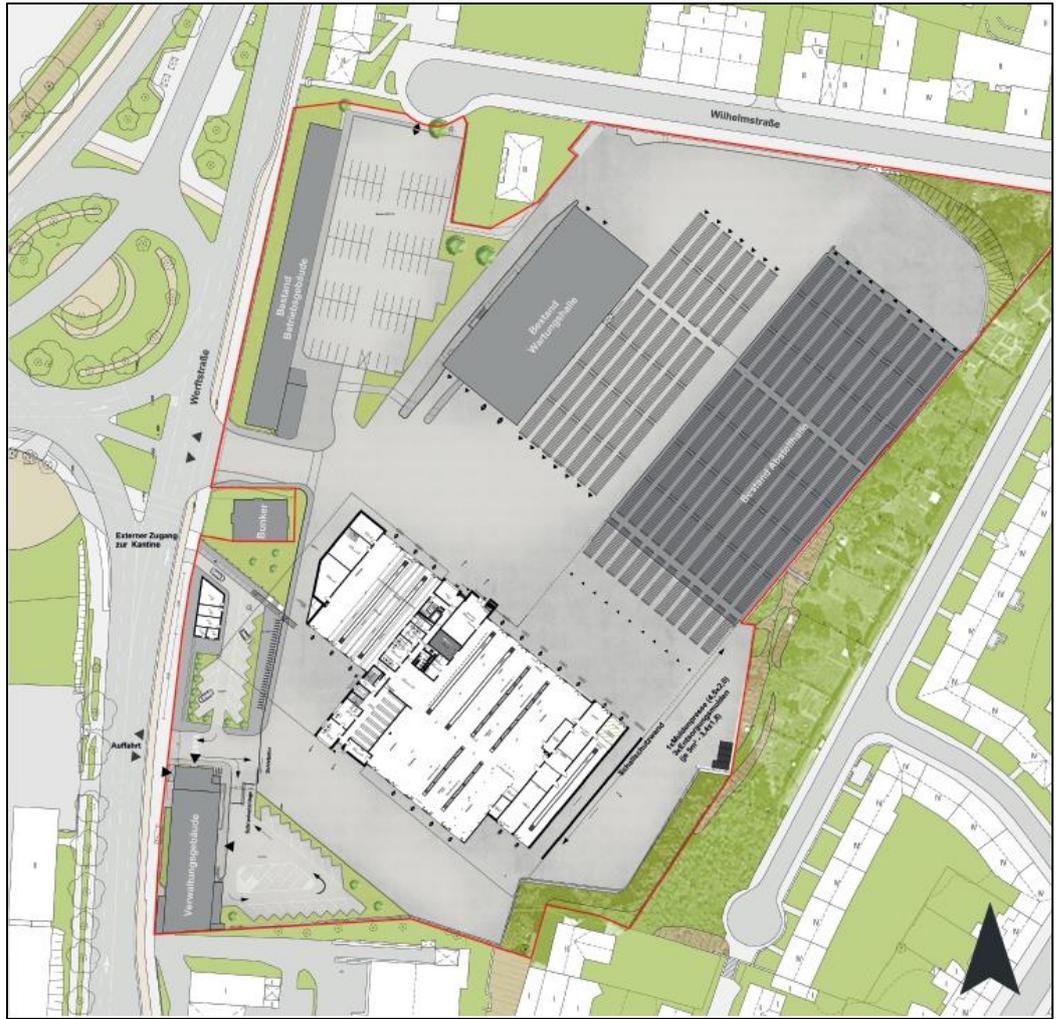


Abbildung 16
Neubau der Hauptwerkstadt durch die LH Kiel / EBK



Abbildung 17



Abbildung 18



Abbildung 19

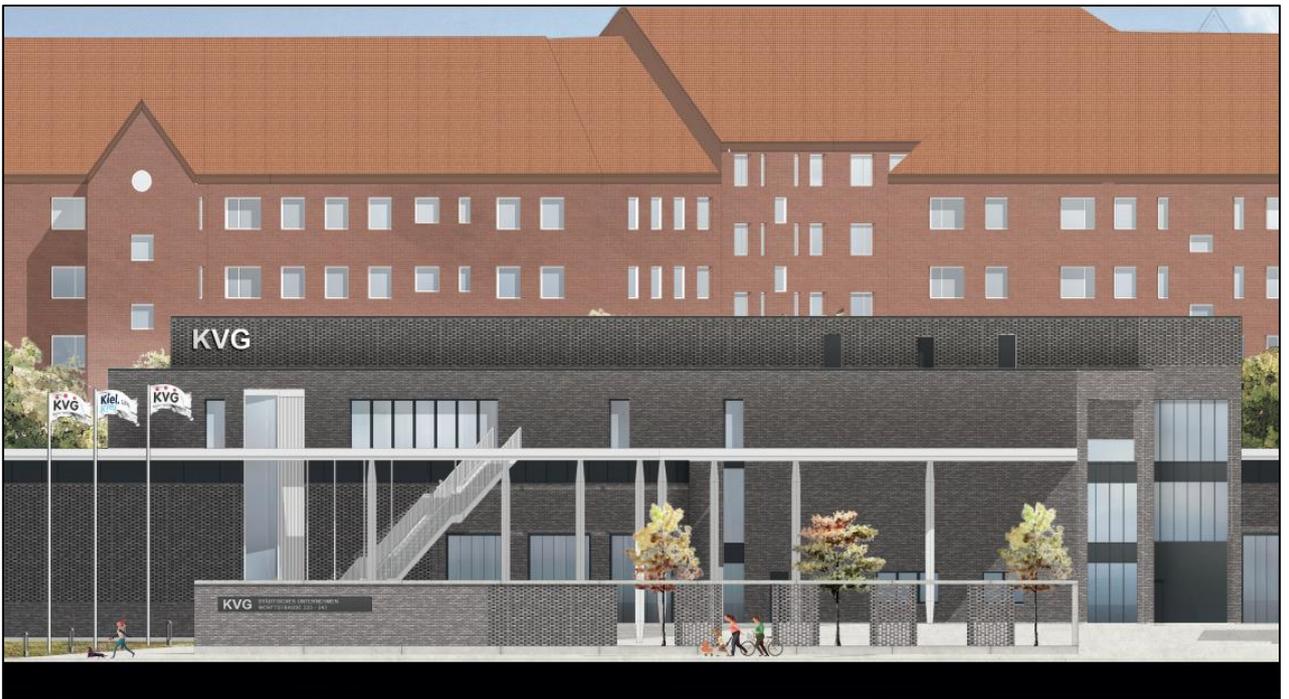


Abbildung 20