

MOBILITÄT

Umsetzungskonzept Alternative Antriebssysteme im Aargauer Busverkehr

Fassung April 2021



Herausgeber

Departement Bau, Verkehr und Umwelt
Abteilung Verkehr
5001 Aarau
www.ag.ch

Copyright

© 2021 Kanton Aargau
Titelbild Elektrobus der RVBW

Zusammenfassung

Im Entwicklungsschwerpunkt Klima des kantonalen Aufgaben- und Finanzplans (AFP) ist die Umstellung der Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs auf alternative Antriebstechnologien als eine wichtige und direkt umsetzbare Massnahme zur Erreichung des Klimaziels "Netto-Null" bis 2050 vorgesehen. In Anbetracht der Lebenszyklen der Fahrzeuge des öffentlichen Strassenverkehrs von 12 bis 16 Jahren ist die Umstellung eine Massnahme, die mittel- bis langfristig wirkt. Ziel ist es, den öffentlichen Strassenverkehr bis 2040 ohne Ausstoss von Treibhausgasen zu betreiben. Dies bedingt, dass nach 2025 in der Regel nur noch Fahrzeuge mit alternativen Antrieben beschafft werden. Das vorliegende Umsetzungskonzept zeigt den Weg auf, um dieses Ziel zu erreichen.

Das Umsetzungskonzept alternative Antriebssysteme auf Aargauer Buslinien befasst sich mit der Umstellung von Dieselbussen auf alternative Antriebssysteme wie Batterie- und Brennstoffzellenbusse. Es zeigt das Vorgehen auf, wie gestützt auf das Ziel "Netto-Null" bis 2050 des Bundes und des kantonalen Klimaziels der öffentliche Busverkehr im Kanton Aargau auf emissionsarme Antriebe umgestellt werden kann. Da für die Beschaffungen der Fahrzeuge die Transportunternehmen zuständig sind, sind die Ausführungen als Empfehlung für die Transportunternehmen zu verstehen, die der Kanton Aargau als Besteller des öffentlichen Verkehrs abgibt.

Das Umsetzungskonzept gibt einen Überblick über die verschiedenen Systeme und deren Wirtschaftlichkeit. Untersucht werden Batteriebusse mit Ladung im Depot (Depotlader), an fixen Ladestationen an den Haltestellen (statischer Gelegenheitslader) und während der Fahrt an Fahrleitungen (dynamische Gelegenheitslader) sowie Wasserstoffbusse mit Brennstoffzellen.

Eine umfangreiche Grundlagenstudie wurde durch die Beratungsbüros KCW GmbH und blic GmbH im Auftrag der Kantone Aargau, Basel-Landschaft, Bern und Solothurn erarbeitet. Sie bildet die Basis für die betriebswirtschaftlichen Kostenüberlegungen. Externe Kosten wie beispielsweise Umweltschäden durch die CO₂-Emissionen wurden in der Studie nicht berücksichtigt.

Anhand von verschiedenen Linienklassen wurden die Kosten der erwähnten Systeme berechnet und verglichen. Beim Stand der Technik im Jahr 2021 zeigt sich, dass der statische Gelegenheitslader in der Regel der wirtschaftlichste alternative Antrieb ist. Auf einzelnen Linientypen ist aber bereits heute der Depotlader wirtschaftlicher. Mit grösser werdender Batteriekapazität beim Depotlader wird sich die Wirtschaftlichkeit dieses Systems zunehmend verbessern. Wasserstoffbusse sind im Jahr 2021 sehr teuer. Grund ist vor allem der hohe Preis für Wasserstoff und der aufwändige Unterhalt. Die Studie basiert auf dem im Jahr 2021 aktuellen Marktumfeld. Es ist anzunehmen, dass die Kosten rasch sinken. Dynamische Gelegenheitslader sind wegen der Fahrleitungen sehr teure Systeme, die sich nur bei sehr dichtem Takt und grossen Gefässgrössen rechtfertigen.

Neben den Investitionskosten in die Infrastruktur, die stark vom gewählten alternativen Antriebssystem abhängt, sind beim Stand der Technik im Jahr 2021 auch Veränderungen bei den Betriebskosten gegenüber dem Dieselbuseinsatz zu erwarten. Die Betriebskosten werden massgeblich durch die Abschreibungen der Fahrzeuge sowie der Energie- und der Wartungskosten beeinflusst. Über alle Linienklassen betrachtet, ergeben sich folgende Veränderungen bei den Betriebskosten:

Statischer Gelegenheitslader:	3 bis 12 %
Depotlader:	8 bis 28 %
Dynamischer Gelegenheitslader:	2 bis 13 %
Wasserstoffbus:	23 bis 44 %

Auf Basis dieser Untersuchungen wird ein Entwicklungspfad aufgezeigt. Für den Horizont 2021 bis 2025 gibt es Leitlinien für anstehende Beschaffungen. Die Aussagen zu den späteren Horizonten sind als Ausblick zu verstehen und zu einem späteren Zeitpunkt auf Basis der Marktentwicklung zu aktualisieren.

Horizont 2021 bis 2025

- Alternative Antriebe sollen vor allem auf Ortsverkehrslinien eingesetzt werden.
- Für alternative Antriebe sind statische Gelegenheitslader im Fokus.
- Depotlader können vor allem dort eingesetzt werden, wo es ohne Fahrzeugmehrbedarf möglich ist.
- Dynamische Gelegenheitslader erweisen sich für das Einsatzgebiet im Aargau beim heutigen Stand der Technik und Marktumfeld durch die hohen Infrastrukturkosten als zu teuer.
- Wasserstoffbusse sind noch ein sehr teures Antriebssystem. Je nach Marktentwicklung ist aber eine Preissenkung rasch möglich. Ihr Einsatzgebiet liegt vor allem bei den Regionallinien.
- Als Minimalvorgabe sollen zunehmend Hybrid- statt Dieselsebusse beschafft werden.
- Bis Ende 2025 sollen ungefähr 10 Prozent des Angebots auf alternative Antriebe umgestellt werden.

Horizont 2025 bis 2030

- Es sollen grundsätzlich keine Dieselsebusse mehr beschafft werden. In Ausnahmefällen können noch Diesel- oder Hybridbusse beschafft werden, sofern keine sinnvollen Alternativen bestehen.
- Statische Gelegenheitslader werden vor allem für Linien mit dichtem Takt und hoher Nachfrage (Gelenkbuslinien) beschafft.
- Vermehrt sollen Depotlader aufgrund der sich abzeichnenden grösseren Reichweiten oder Wasserstoffbusse aufgrund der sinkenden Kosten beschafft werden. Ihr Einsatzgebiet liegt vor allem bei den Regionallinien.
- Bis 2030 sollen rund die Hälfte des Angebots auf alternative Antriebe umgestellt werden.

Horizont 2030 bis 2040

Die Entwicklungen der einzelnen Systeme nach 2030 können heute nicht genügend genau abgeschätzt werden. Mit der Umsetzung des Entwicklungspfads kann der Busverkehr ab dem Jahr 2040 nahezu vollständig CO₂-neutral betrieben werden.

Die Finanzierung der Ladeinfrastruktur läuft bei den ersten Projekten über Beiträge aus der Spezialfinanzierung öV-Infrastruktur. Die Betriebskosten (inklusive der Abschreibung der Fahrzeuge) werden über die ordentlichen Abgeltungen finanziert. Mit dem zunehmenden Einsatz von alternativen Antrieben und der damit erwarteten Angleichung der Kosten sollen diese vollständig, das heisst inklusive Ladeinfrastruktur, über die ordentlichen Abgeltungen finanziert werden. Mittel- bis langfristig kann mit der Aufhebung der Mineralölsteuer-Rückerstattung davon ausgegangen werden, dass sich die Betriebskosten alternativer Antriebssysteme denjenigen von Dieselsebussen annähern.

Auf Basis des Entwicklungspfads und weiteren Auswertungen wird eine Projektliste erstellt, die der Koordination der Projekte dient.

Inhalt

Zusammenfassung	3
1 Einleitung und Ziele	6
1.1 Auftrag	6
1.2 Ziele des Umsetzungs-konzepts	7
1.3 Ziele mit der Umsetzung	7
1.4 Bezug zu Klimastrategien	7
1.5 Zeithorizonte	8
1.6 Grundlagen	8
2 Überblick über die Systeme	9
2.1 Hybrid und Plug-in-Hybrid	9
2.2 Batteriebusse	9
2.3 Wasserstoff (Brennstoffzelle)	11
2.4 Alternative Treibstoffe	12
3 Wirtschaftlichkeit	13
3.1 Vorgehen und untersuchte Systeme	13
3.2 Gesamtkostenvergleich	13
3.3 Vergleich der Investitions-kosten	14
3.4 Vergleich der Betriebs-kosten	15
3.5 Entwicklungen	16
4 Entwicklungspfad	17
4.1 Horizont 2021 bis 2025	17
4.2 Horizont 2025 bis 2030	17
4.3 Horizont 2030 bis 2040 (Zielbild)	18
5 Vorgehen bei der Umsetzung	19
5.1 Koordination der Projekte	19
5.2 Vorgesuch	19
5.3 Betriebsmittelgesuch	20
5.4 Eigentumsfragen	20
5.5 Umsetzung	21
6 Finanzierung	22
6.1 Investitionskosten	22
6.2 Betriebskosten	22
7 Projekte	23
7.1 Ersatzbeschaffungen	23
7.2 Projektliste	24

1 Einleitung und Ziele

Der Verkehr verursacht heute einen wesentlichen Anteil des gesamten CO₂-Ausstosses. Mit der Ratifizierung des Klimaabkommens von Paris hat sich die Schweiz verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen bis 2030 gegenüber dem Stand von 1990 zu halbieren.¹ Bis ins Jahr 2050 soll gemäss Bundesrat die Schweiz ihre Treibhausgase auf Ziel "Netto-Null" absenken.² Mobilitätsformen, die fossile Energiequellen für den Antrieb nutzen, werden damit längerfristig unter Druck kommen. Der Kanton Aargau unterstützt diese Ziele³ und sieht daher vor, dass langfristig der gesamte durch ihn mitbestellte öffentliche Verkehr emissionsfrei betrieben werden kann.

Im Jahr 2021 wird bereits etwa 70 % der zurückgelegten Personenkilometer im öffentlichen Verkehr im Kanton Aargau elektrisch und emissionsarm mit der Bahn zurückgelegt.⁴ Der Busverkehr im Aargau wird mit Ausnahmen von einigen Hybridbussen fast vollständig mit Dieselbussen abgewickelt. Bei den Antriebsarten von Bussen zeichnet sich ein Wandel ab. Derzeit kommen immer mehr elektrisch betriebene und emissionsarme Fahrzeuge auf den Markt.

Das Umsetzungskonzept alternative Antriebssysteme auf Aargauer Buslinien zeigt auf, welche Antriebsformen der Kanton Aargau als Besteller des öffentlichen Busverkehrs bei anstehenden Beschaffungen empfiehlt. Das Umsetzungskonzept berücksichtigt alle Antriebsarten, die im öffentlichen Verkehr eingesetzt und mit einer CO₂-freien und erneuerbaren Energiequelle betrieben werden können.

1.1 Auftrag

Der Auftrag, ein Umsetzungskonzept zu erarbeiten, leitet sich aus der Motion GR18.220 zum Thema öffentlicher Verkehr ohne Verbrennungsmotoren ab, welche im November 2018 im Grossen Rat eingegeben wurde. Der Motionär schlug vor, dass ab dem Jahr 2023 nur noch Hybridbusse und ab dem Jahr 2028 nur noch Busse ohne Verbrennungsmotoren beschafft werden dürfen. Der Regierungsrat hat die Ablehnung der Motion wegen der strikten Vorgaben beantragt, war aber bereit die Motion als Postulat entgegen zu nehmen. Der Regierungsrat hat sich in der Antwort verpflichtet, zusammen mit den Transportunternehmen sinnvolle Einsatzgebiete zu prüfen.⁵ Der Grosse Rat hat am 5. März 2019 der Umwandlung in ein Postulat mit 80 zu 48 Stimmen zugestimmt.

Das Umsetzungskonzept dient auch den Zielen der Strategie energieAARGAU, die der Grosse Rat im Juni 2015 beschlossen hat. Gemäss der Energiestrategie hat der Kanton die Aufgabe, alternative Antriebe bei Bussen des öffentlichen Verkehrs zu fördern. Der Kanton kann zum Beispiel durch Richtlinien für die Beschaffung und den Betrieb von öffentlichen Bussen zur Energieeffizienz des öffentlichen Verkehrs beitragen.⁶

Auch im Mehrjahresprogramm öV 2020, das im Dezember 2019 durch den Grossen Rat genehmigt wurde, hat der Kanton seine Absicht geäussert, zunehmend Fahrzeuge mit alternativen Antrieben zu finanzieren.

Gemäss Gesetz über den öffentlichen Verkehr (öVG) vom 02.09.1975 (SR 995.100) hat der Kanton die Aufgabe, den öffentlichen Verkehr im Sinne einer nachhaltigen Umwelt- und Wirtschaftspolitik zu fördern, was eine ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit umfasst.

¹ Siehe <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/klima--internationales/das-uebereinkommen-von-paris.html>

² Siehe <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/klimaziel-2050.html>

³ Siehe dazu auch Entwicklungsleitbild des Regierungsrats.

⁴ Quelle: eigene Auswertung der Linienkennzahlen, Stand 2019.

⁵ Siehe <https://www.ag.ch/grossrat/grweb/de/195/Detail%20Gesch%C3%A4ft?ProzId=4030846>

⁶ Siehe https://www.ag.ch/de/bvu/energie/strategie_konzepte/leitlinien_der_kantonalen_energiepolitik/ausrichtung_der_kantonalen_energiepolitik_1.jsp

1.2 Ziele des Umsetzungs-konzepts

Mit der Erarbeitung des Umsetzungskonzepts zu den alternativen Antriebssystemen sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Die Transportunternehmen sind über die Ziele und die Empfehlungen des Kantons als Besteller bei künftigen Busbeschaffungen informiert.
- Prioritäre Einsatzgebiete für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben sind definiert und zwischen Transportunternehmen und Bestellern abgestimmt.
- Finanzierungsmöglichkeiten und Vorgehen für die Beschaffung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben sind geklärt. Die möglichen finanziellen Auswirkungen für die Besteller sind ausgewiesen.
- Bei anstehenden Projekten (zum Beispiel öV-Drehscheiben oder neue Busdepots) können Synergiepotentiale mit Umstellungen auf alternative Antriebe identifiziert und genutzt werden.

Die Transportunternehmen und die Abteilung Energie des Departements Bau, Verkehr und Umwelt sind in die Erarbeitung einbezogen worden. Zum Umsetzungskonzept wurden zwei Workshops durchgeführt und den erwähnten Beteiligten eine Möglichkeit zur Stellungnahme gegeben.

1.3 Ziele mit der Umsetzung

Mit dem Umsetzungskonzept zu den alternativen Antriebssystemen soll der Kanton als Besteller des öffentlichen Verkehrs zur Erfüllung von folgenden Zielen beitragen:

- Im Jahr 2040 soll der öffentliche Verkehr im Kanton Aargau nahezu CO₂-neutral betrieben werden können. Mit dem Umsetzungskonzept wird ein Schritt in diese Richtung aufgezeigt. Es dient der Umsetzung kantonaler und nationaler Energiestrategien.
- Die Emissionen des Verkehrs führen zu einer Belastung der Bevölkerung. Mit alternativen Antriebsformen sollen sowohl der Lärm wie auch die Schadstoffbelastung (NO_x und weitere) massgeblich reduziert werden.
- Die Energieeffizienz und damit die Nachhaltigkeit im öffentlichen Verkehr soll langfristig gesteigert werden. Durch den effizienten Einsatz sollen der Energieverbrauch und die Kosten langfristig reduziert werden können.

- Im Rahmen von Forschungsprojekten kann der Aargauer Technologiestandort gefördert werden.

Ohne die Umsetzung dieser Ziele droht dem öffentlichen Busverkehr, dass er seine Vorteile bezüglich des Energieverbrauchs und der Emissionen verliert.

1.4 Bezug zu Klimastrategien

Der Kanton Aargau hat aufgrund der Motion der GLP-Fraktion vom 5. März 2019 betreffend kantonaler Klimaschutz-Projekte (19.63) im Aufgaben- und Finanzplan 2020–2023 einen neuen "Entwicklungsschwerpunkt Klimaschutz und Klimaanpassung" (ESP Klima, 600E003) geschaffen. Der Regierungsrat hat ein Steuerorgan unter der Federführung des Departements Bau, Verkehr und Umwelt mit der Erarbeitung von Themenschwerpunkten zu Klimaschutz und Klimaanpassung beauftragt.

Der Kanton Aargau unterstützt die Ziele des Bundes und will mit geeigneten Massnahmen seine Emissionen von Treibhausgasen bis 2050 mit entsprechenden Zwischenzielen 2030 und 2040 auf "Netto-Null" senken.

Während der Energieverbrauch und damit der CO₂-Ausstoss in vielen Bereichen rückläufig ist (zum Beispiel Gebäudebereich), stagnieren diese im Mobilitätsbereich auf hohem Niveau. In diesem Bereich gibt es daher die kantonalen Handlungsspielräume zu nutzen, um die Rahmenbedingungen vermehrt zugunsten einer effizienten Mobilität zu lenken⁷.

Mit der Beschaffung von emissionsarmen Fahrzeugen mit alternativen Antrieben kann der Kanton als Besteller des öffentlichen Verkehrs eine Vorbildfunktion übernehmen. Er unterstützt damit weitere private Initiativen, den Verkehr im Kanton Aargau und in der Schweiz klimafreundlicher zu gestalten.

⁷ Quelle: Monitoring Bericht energieAARGAU, Fassung vom 25. November 2020, https://www.ag.ch/de/verwaltung/bvu/energie/energieaargau/monitoring_bericht/monitoring_bericht.jsp.

1.5 Zeithorizonte

Das vorliegende Umsetzungskonzept umfasst zwei Horizonte. Es gibt die Leitlinien für die nächsten fünf Jahre vor (2021 bis 2025). Zudem wird ein Ausblick auf die fünf darauffolgenden Jahre (2025 bis 2030) gemacht. Der Horizont 2025 bis 2030 ist vor allem für die Koordination und die Abstimmung der Projekte mit dem Aufgaben- und Finanzplan (AFP) wichtig. Der Horizont 2030 bis 2040 zeigt den Zielzustand auf.

Aufgrund der schnellen Entwicklungen bei den Antriebstechnologien soll dieses Umsetzungskonzept periodisch aktualisiert werden. Es bildet den Stand der Technik aus dem Jahr 2021 ab. Die Transportunternehmen sind verantwortlich für die Fahrzeugbeschaffung, den Unterhalt und den Fahrbetrieb. Der Kanton Aargau als Besteller der öV-Leistungen kann durch Vorgaben oder finanzielle Anreize den Einsatz von Bussen mit alternativen Antrieben verlangen oder fördern.

Die Fahrzeuge werden über eine Dauer von 12 bis 16 Jahren amortisiert. Die Amortisation der Fahrzeuge wird in die Betriebskosten eingerechnet. Der Ersatz von Fahrzeugen hat sich in der Regel mindestens an die Abschreibedauer zu halten, da sonst die wirtschaftlichen Vorgaben nicht eingehalten werden können. Die Geschwindigkeit der Abkehr von fossilen Treibstoffen richtet sich demzufolge nach dem Erneuerungszyklus der bestehenden Busflotten. Die Konsequenzen der Entscheide, die bezüglich der Antriebsart getroffen werden, sind dann über 12 bis 16 Jahre zu tragen. Auch wenn in den nächsten Jahren zahlreiche Projekte umgesetzt werden, werden voraussichtlich bis ungefähr ins Jahr 2040 Fahrzeuge mit fossilen Energieträgern im Einsatz stehen.

1.6 Grundlagen

Die Studie Wirtschaftlichkeit des Einsatzes alternativer Antriebe im Busverkehr, die zusammen mit den anderen Kantonen aus der Nordwestschweiz (NWCH) erarbeitet wurde, bildet die Grundlage für das Umsetzungskonzept, insbesondere für die Kapitel 2 und 3. Das Ziel der Studie war, die Kosten aus betriebswirtschaftlicher Sicht zu berechnen. Es werden daher keine externen Kosten berücksichtigt.

Die Resultate dieser Grundlagenstudie wurden anschliessend mit den Ergebnissen von anderen Studien und Angaben aus der Fachliteratur verglichen. Es hat sich gezeigt, dass die Resultate ähnlich sind, aber immer die getroffenen Annahmen überprüft werden müssen. Vor allem bei der Veränderung der Betriebskosten durch Elektrobusse kommen andere Studien zu sehr ähnlichen Ergebnissen, wenn auch eine gewisse Streuung festzustellen ist.

2 Überblick über die Systeme

Bei den alternativen Antrieben steht eine Vielzahl von verschiedenen Antriebssystemen und Energieträgern zur Verfügung. In einer kurzen Übersicht werden die wichtigen Optionen dargestellt. Teilweise sind auch Mischformen zwischen diesen Systemen denkbar, die nicht abschliessend beschrieben sind.

2.1 Hybrid und Plug-in-Hybrid

Hybridbusse sind Fahrzeuge mit einem Elektroantrieb und einem Antrieb aus einem weiteren Energieträger. Im Kanton Aargau sind bereits seit einigen Jahren Hybridfahrzeuge mit kombiniertem Elektro- und Dieselantrieb im Einsatz. Durch das Laden der Batterie beim Bremsen und dem elektrischen Anfahren können der Kraftstoffverbrauch und die Lärmemissionen reduziert werden. Für den Antrieb werden weiterhin fossile Energieträger benötigt. Die Anschaffungskosten für Hybridbusse sind leicht höher als diejenigen von Dieselnissen, dafür resultieren etwas tiefere Betriebskosten durch den tieferen Verbrauch.

Beim sogenannten Plug-in-Hybrid kann die Batterie auch im Depot geladen werden. Somit kann über eine etwas längere, aber dennoch begrenzte Distanz rein elektrisch gefahren werden. Über Geofencing kann eine rein elektrisch befahrene Zone festgelegt werden, so dass vor allem in Bereichen innerorts elektrisch gefahren wird. Plug-in-Hybridmodelle sind Anfang 2021 nur von zwei Herstellern verfügbar.

Stärken	Flexibel einsetzbar, kaum Mehrkosten gegenüber Dieselnissen.
Schwächen	Weiterhin fossile Energieträger, reduziert CO ₂ -Ausstoss nur teilweise.
Stand	Hybridbusse sind im Einsatz. Plug-in-Hybride konnten sich bislang am Markt nicht wirklich durchsetzen.
Ausblick	Hybridmodelle dürften längerfristig durch die technische Entwicklung überholt werden.

2.2 Batteriebusse

Batteriebusse sind Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb und Batteriespeicher. Die verschiedenen Systeme unterscheiden sich hauptsächlich bei der Batteriegrösse und der Art / des Orts der Ladung. Entscheidend für den CO₂-Ausstoss von Batteriebusen ist der Strommix, der für das Laden der Busse gewählt wird. Zudem muss beachtet werden, dass die Produktion der Batterien selbst bereits relativ grosse Mengen an Energie verbraucht (sogenannte "graue Energie"). Diese Energie kann erst nach einiger Zeit kompensiert werden.

Ausserdem sind die ökologischen Auswirkungen bei der Produktion von Batterien zu beachten. Der Einsatz von Batteriebusen hat eine Vielzahl von Auswirkungen auf den Unterhalt, die Schulung des Fahr- und Werkstattpersonals (Umgang mit Hochspannung) und die IT-Systeme.

2.2.1 Depotlader

Die Batterien von Depotladern werden ausschliesslich im Depot geladen. Busse mit Depotladung haben in Abhängigkeit der Reichweite eine entsprechend grosse und schwere Batterie. Vorteilhaft wirkt sich aus, dass Depotlader sehr flexibel einsetzbar sind. Nachteile sind das hohe Batteriegewicht und die im Moment noch eingeschränkte Reichweite. Die Batteriegrösse ist durch die maximalen Achslasten begrenzt beziehungsweise kann die Anzahl der Fahrgäste reduzieren. Die im Jahr 2020 verfügbaren Fahrzeuge mit Depotladung haben eine Reichweite von zirka 150 km. Auf vielen Linien ist diese Reichweite noch zu gering, um die Fahrzeuge den ganzen Betriebstag ohne Nachladen einzusetzen. Zudem beeinflusst die Aussentemperatur und die Heizung oder Klimaanlage die Reichweite saisonal sehr stark. Aufgrund der Abhängigkeit von der Batteriegrösse eignen sich Depotlader derzeit vor allem für kleinere Fahrzeuge.

Der Einsatz von Depotladern ist bei den heutigen Batteriekapazitäten nur für Fahrzeuge sinnvoll, die wenige Einsatzstunden am Stück leisten und in den Zwischenzeiten im Depot aufgeladen werden können (zum Beispiel Verstärkungskurse während den Hauptverkehrszeiten oder Schul-/Betriebsbusse). Andernfalls müssen zusätzliche Fahrzeuge angeschafft werden, welche die im Umlauf befindlichen Fahrzeuge ablösen, damit diese ins

Depot gefahren und aufgeladen werden können. Dies führt zu höheren Investitionen und damit verbundenen Abschreibungen/Zinsen sowie zusätzliche Personalkosten. Darunter leidet die Wirtschaftlichkeit von Depotladern (siehe Kapitel 3).

Im Gegensatz zu den Gelegenheitsladern mit kurzen Ladevorgängen durch hohe Leistung können Batteriebusse mit Depotladung über Nacht mit tiefer Leistung geladen werden. Bei grösseren Flotten benötigt dies unter Umständen dennoch Anpassungen am Depot beziehungsweise an der Stromzuleitung zum Depot, damit eine genügend hohe Leistung für das Nachladen aller Busse vorhanden ist.

Stärken	Flexible Liniengestaltung, keine Standzeiten notwendig (Ladung erfolgt nicht während der Betriebszeit).
Schwächen	Hohes Batteriegewicht, starke Ladeleistungen im Depot bei grossen Flotten notwendig. Klima/Heizung kann Reichweite saisonal stark reduzieren.
Stand	Reichweite derzeit beschränkt, oft zusätzliche Umläufe zum Nachladen notwendig.
Ausblick	Es kann davon ausgegangen werden, dass die Kapazität der Batterien in den nächsten Jahren weiter zunimmt. Die Verfügbarkeit von Depotladern mit genügender Reichweite bis ins Jahr 2030 ist möglich, aber nicht gesichert.

2.2.2 Statischer Gelegenheitslader

Im Unterschied zu Depotladern haben Gelegenheitslader nur eine kleine Batterie. Sie werden an Endhaltestellen und allenfalls zusätzlich an Zwischenstationen geladen. An den Ladepunkten muss genügend Zeit zur Verfügung stehen, damit die Batterien nachgeladen werden können. In den Hauptverkehrszeiten können die Wendezeiten durch die längeren Fahrgastwechsel und die höhere Verkehrsbelastung stark sinken und für die Nachladung nicht mehr ausreichen. Dieser Aspekt ist bei der Dimensionierung der Batterie beziehungsweise der Berechnung der Ladezeit zu berücksichtigen, so dass allenfalls in der Hauptverkehrszeit ohne Nachladen durchgefahren werden kann. Dies reduziert die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Systems.

Als Nachteil erweist sich, dass die Ladestationen und damit in der Regel die Endpunkte der Linie fix sind und nur mit baulichen Anpassungen geändert werden können. Die Ladestationen müssen zudem die gesetzlichen Vorgaben bezüglich Lärm und Strahlung

einhalten. Im Depot sind ebenfalls Lademöglichkeiten sinnvoll, damit die Batterien über Nacht schonend nachgeladen werden können.

Statische Gelegenheitslader haben Auswirkungen auf die Angebotsplanung, zum Beispiel müssen genügend lange Wendezeiten vorhanden sein. Grundsätzliche Änderungen bei den Angebotskonzepten sind nur mit grossem Aufwand umsetzbar. Beispielsweise werden beim Wechsel von Radiallinien zu Durchmesserlinien keine Ladestationen im Zentrum mehr benötigt.

Statische Gelegenheitslader lohnen sich nur ab einer gewissen Fahrplandichte, wenn die Ladestation mehrmals pro Stunde zum Einsatz kommt. Allenfalls kann eine Ladestation auch von mehreren Linien benutzt werden. Die dezentralen Ladestationen benötigen zudem genügend starke Zuleitungen, mit denen die Busse in kurzer Zeit mit hoher Leistung ausreichend aufgeladen werden können. Die hohen Leistungen führen zu hohen Belastungen des Stromnetzes und können entsprechend hohe Netznutzungsgebühren verursachen. Mit stationären Akkus (eventuell auch in Kombination mit Superkondensatoren) könnten diese Spitzen reduziert werden.

Trotz dieser Nachteile sind im Jahr 2021 auf einigen Linien in der Schweiz statische Gelegenheitslader im Einsatz. Vor allem bei Gelenkbussen sind solche Systeme im Einsatz, da nur mit ständigem Nachladen die notwendige Leistung zur Verfügung gestellt werden kann.

Stärken	Nur kleine Batterie notwendig, keine Reichweitenprobleme durch Nachladung.
Schwächen	Zahlreiche Ladestationen notwendig. Wenig flexibel bei Liniengestaltung (Endpunkte nur mit Aufwand veränderbar), Nachladen abhängig von der Fahrplanstruktur (eventuell zusätzliche Umläufe notwendig). Kurze, hohe Leistung für Ladung notwendig mit entsprechenden Auswirkungen auf das Stromnetz (allenfalls können Spitzen durch Pufferung gemindert werden).
Stand	Zahlreiche Modelle sind oder kommen auf den Markt. Im Wesentlichen stellen Gelegenheitslader eine Überbrückungsmassnahme dar, um die Reichweite zu verlängern.
Ausblick	Die Zukunft ist stark von der weiteren Entwicklung von der Batterietechnologie abhängig. Mit zunehmender Energiedichte und Schnellladefähigkeiten der Batterien sowie stationären Energiespeichern wird die Notwendigkeit von Gelegenheitsladern abnehmen.

2.2.3 Dynamischer Gelegenheitslader

Im Unterschied zu statischen Gelegenheitslader werden Batteriebusse mit dynamischer Gelegenheitsladung während der Fahrt nachgeladen. Dazu sind ungefähr auf 40 bis 60 % der Strecke Fahrleitungen notwendig (in Abhängigkeit der Batteriekapazität und Ladeleistung). Sie grenzen sich von klassischen Trolleybussen ab, die auf nahezu 100 % der Strecke Fahrleitungen aufweisen.

Die Abschnitte mit Fahrleitungen können bei dynamischen Gelegenheitsladern beispielsweise im Stadtzentrum von mehreren Linien benutzt werden. Oftmals werden wegen dem Ortsbild im Stadtzentrum keine Oberleitungen gewünscht. Mit Fahrleitungen auf den Aussenästen sinkt der Vorteil, dass mehrere Linien die Infrastruktur gleichzeitig nutzen können. Wie Trolleybusse bieten sich dynamische Gelegenheitslader vor allem dort an, wo bereits heute grosse Fahrzeuge (Gelenk- oder Doppelgelenkbusse) in dichtem Takt verkehren, damit sich die Infrastruktur möglichst gut amortisieren lässt.

Klassischerweise werden dynamische Gelegenheitslader aus bestehenden Trolleybus-Netzen entwickelt, in dem auf Teilabschnitten die Fahrleitung entfernt wird oder neue Abschnitte unter Nutzung der bestehenden Leitungen bedient werden. Auch die Fahrzeuge werden aus den heutigen Trolleybussen entwickelt (im Folgenden als "Trolleybus classic" bezeichnet). Trolleybusse haben heute eine Lebensdauer von ungefähr 18 Jahren. Eine neuere Generation an Gelegenheitsladern (nachfolgend als "Trolleybus advanced" bezeichnet) könnte technologisch stärker auf Batteriebusen basieren. Damit könnten längerfristig die Investitionskosten gesenkt und die Nutzungsdauern aber eher reduziert werden.

Stärken	Keine zusätzlichen Fahrzeuge bei gleichem Fahrplan, gewisse Flexibilität (auf Abschnitten ohne Fahrleitung), nur kleine Batterie notwendig.
Schwächen	Hohe Infrastrukturkosten, insbesondere, wenn noch keine Trolleybusse im Einsatz, Ortsbildfragen (Oberleitungen).
Stand	Trolleybusse sind seit Jahrzehnten in der Schweiz im Einsatz, nicht aber im Kanton Aargau. Bestehende Trolleybusnetze werden zunehmend zu Systemen mit dynamischer Gelegenheitsladung weiterentwickelt.
Ausblick	Auch wenn neue Fahrzeugtechnologien auf den Markt kommen, sind dennoch grosse Investitionen in Fahrleitungen notwendig.

2.3 Wasserstoff (Brennstoffzelle)

In einer Brennstoffzelle wird Wasserstoff in elektrische Energie umgewandelt und treibt einen Elektromotor an. Aufgrund der hohen Energiedichte (Menge Energie im Verhältnis zum Gewicht) sind sehr grosse Reichweiten und damit auch ein sehr flexibler Einsatz möglich.

In Brugg waren bereits mehrere Fahrzeuge mit Brennstoffzellen erfolgreich im Einsatz. Grundsätzlich ist die Technik erprobt und einsetzbar. Derzeit sind aber noch wenige Fahrzeuge auf dem Markt vorhanden und es fehlen teilweise die notwendigen Tankanlagen. Im Kanton Aargau ist seit 2020 in Hunzenschwil eine Wasserstofftankstelle in Betrieb.

Beim Wasserstoff stellt sich die Frage, mit welcher Energie dieser hergestellt wird (analog Strommix bei Batteriebusen). Zudem ist die Herstellung von Wasserstoff und die Umwandlung im Bus zu elektrischem Strom im Vergleich zu batteriebetriebenen Bussen weniger energieeffizient.

Stärken	Sehr flexibel einsetzbar dank grosser Reichweite, keine zusätzlichen Umläufe.
Schwächen	Weniger energieeffizient als Batteriebus (Energieverlust bei der Wasserstoffherstellung sowie bei der Rückverstromung in der Brennstoffzelle). Derzeit hohe Kosten für Wasserstoff.
Stand	Technologie ist grundsätzlich erprobt und kann sehr ähnlich wie der Einsatz von Dieselmotoren erfolgen. Einzelne Tankstellen sind vorhanden.
Ausblick	Es ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren vermehrt Serienmodelle auf den Markt kommen. Unklar ist die Kostenentwicklung der Technologie (in Bezug auf die Brennstoffzelle wie auch der Wasserstoffherstellung). Je nach Entwicklung könnten die Kosten rasch sinken. Auch könnten zusätzliche Tankstellen in Betrieb genommen werden.

2.4 Alternative Treibstoffe

In den letzten Jahren wurden verschiedene biogene Treibstoffe (wie zum Beispiel Bioethanol, Biodiesel) sowie synthetische Treibstoffe entwickelt. Zudem wurde Biogas dem Erdgastreibstoff beigemischt. Solange diese CO₂-frei hergestellt werden können, sind auch solche Antriebssysteme langfristig denkbar, können aber in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion stehen.

Im Jahr 2021 können mit solchen Treibstoffen keine grossen Busflotten betrieben werden. Sie sind als Ergänzung einer Flotte mit alternativen Antrieben und zur Optimierung des CO₂-Ausstosses denkbar. Unter geänderten Bedingungen könnten solche Treibstoffe längerfristig eine grössere Rolle spielen, dabei ist der Gesamtbilanz (zum Beispiel Umweltbelastung der Biomasse) ein besonderes Augenmerk zu schenken.

Stärken	Flexibel einsetzbar, keine zusätzlichen Fahrzeuge bei gleichem Fahrplan.
Schwächen	Wirkungsgrad ist durch Energieumwandlung in synthetische Treibstoffe bei den heutigen Herstellungsmethoden tief.
Stand	Alternative Treibstoffe sind nicht in den benötigten Mengen verfügbar. Biomassenpotential ist beschränkt.
Ausblick	Bei geänderten Rahmenbedingungen denkbar.

3 Wirtschaftlichkeit

3.1 Vorgehen und untersuchte Systeme

Um die Wirtschaftlichkeit der Systeme aus Kapitel 2 zu beurteilen, wurden die Kosten von verschiedenen Systemen in der Grundlagenstudie berechnet. Die Studie wurde durch die Beratungsbüros KCW GmbH und blic GmbH im Auftrag der Kantone Aargau, Basel-Landschaft, Bern und Solothurn erarbeitet. Das Kapitel fasst die wichtigsten Erkenntnisse zusammen. Die in diesem Bericht angegebenen Zahlen und Tabellen werden aus der Studie übernommen und durch eigene Interpretationen ergänzt.

Nicht weiterbetrachtet wurden alternative Treibstoffe, da bei diesen die Marktverfügbarkeit im Jahr 2021 nicht gegeben ist. Bei den Gelegenheitsladern hat sich in der Grundlagenstudie gezeigt, dass die Kosten für Trolleybusse classic und advanced (siehe Kapitel 2.2.3) fast identisch sind, so dass sie im Umsetzungskonzept nicht weiter unterschieden werden. Hybridbusse wurden in den Berechnungen nicht berücksichtigt, da sie weiterhin mit fossilen Energieträgern betrieben werden müssen und sich die Kosten nur unwesentlich von Dieselbussen unterscheiden.

In den Vergleich wurden folgende Systeme einbezogen:

- Dieselbus (als Referenzsystem)
- Batteriebusse mit Depotladung (Depotlader)
- batteriebusse mit statischer Gelegenheitsladung (Statische Gelegenheitslader)
- batteriebusse mit dynamischer Gelegenheitsladung (Dynamische Gelegenheitslader)
- Wasserstoffbusse mit Brennstoffzelle (Wasserstoffbus)

Um Aussagen für verschiedene Einsatzgebiete zu ermöglichen, wurden Linienklassen gebildet. Aufgeteilt wurde zwischen Linien im Regionalverkehr und im Ortsverkehr, die sich deutlich in ihrer Haltestellendichte und der Beförderungsgeschwindigkeit unterscheiden. Zudem wurde zwischen Linien mit Gelenk- und Standardbussen unterschieden. So konnten vier Linienklassen gebildet werden:

- Regionalverkehr, Standardbuslinie
- Regionalverkehr, Gelenkbuslinie
- Ortsverkehr, Standardbuslinie
- Ortsverkehr, Gelenkbuslinie

Innerhalb einer Linienklasse wurden zusätzlich verschiedene Taktvarianten (60-, 30-, 15- oder 7.5-Minuten-Takt) untersucht. In den folgenden Tabellen ist jeweils der Grundtakt angegeben, in einzelnen Taktvarianten wird in der Hauptverkehrszeit (HVZ) das Angebot verdichtet.

Für jede Linienklasse und Taktvariante wurden auf Basis von durchschnittlichen Mengengerüsten die jährlichen Betriebskosten pro Antriebssystem ermittelt. Dabei wurden die Anschaffungskosten von Fahrzeugen und Infrastruktur über ihre jährliche Amortisation/Verzinsung bei üblicher Nutzungsdauer berücksichtigt. Die dabei berücksichtigten Betriebs- und Investitionskostenansätze wurden pro Antriebssystem basierend auf aktuellen Quellen validiert und anhand von Referenzanwendungen ermittelt. Die Kosten, die je nach Antriebsart stark abweichen können (zum Beispiel durch zusätzliche Fahrzeuge aufgrund fehlender Reichweite von Batteriebussen, zusätzlichen Einsatzstunden und Leerfahrten für den Fahrzeugtausch sowie zusätzlichem Infrastrukturbedarf für Lade- und Werkstattinfrastruktur), wurden basierend auf Linienklasse, Taktvariante und Antriebssystem gesondert berechnet.

3.2 Gesamtkostenvergleich

Werden alle Kosten inklusive der notwendigen Infrastruktur betrachtet, ist im Jahr 2021 der statische Gelegenheitslader auf fast allen Linienklassen das wirtschaftlichste alternative Antriebssystem. Einzig auf Ortsverkehrslinien gibt es in einigen Linienklassen Ausnahmen. Bei geringem Takt auf Standardbuslinien ist der Depotlader bereits heute das wirtschaftlichste alternative Antriebssystem. Bei Linien im 7.5-Minuten-Takt mit Gelenkbuseinsatz ist der dynamische Gelegenheitslader noch etwas wirtschaftlicher. Nach dem statischen Gelegenheitslader ist meist der Depotlader das wirtschaftlichste alternative Antriebssystem.

Aufgrund der hohen Kosten für Wasserstoff und Unterhalt gehört der Wasserstoffbus zu den teuersten alternativen Antriebssystemen. Einzig beim 60-Minuten-Takt liegt der Wasserstoffbus nicht auf dem letzten Rang. Die Grundlagenstudie basiert auf dem Preisstand 2021. Gerade beim Preis für Wasserstoff ist mit sinkenden Kosten zu rechnen (siehe Kapitel 3.5.1). Auch der dynamische Gelegenheitslader

gehört aufgrund der Infrastrukturkosten in den meisten Linienklassen und Taktvarianten zu den teuersten Systemen. Bei den Linienklassen mit dichtem Angebot und grösseren Fahrzeugen verbessert sich seine Wirtschaftlichkeit gegenüber den anderen Systemen.

Die folgende Tabelle zeigt die Rangfolge der verschiedenen Systeme in verschiedenen Linienklassen und Taktvarianten. Grün stellt das System mit der höchsten und gelb das System mit der tiefsten Wirtschaftlichkeit dar. In allen Linienklassen bleibt der Dieselbus das wirtschaftlichste Fahrzeug.

Zu beachten ist, dass es sich um eine betriebswirtschaftliche Betrachtung handelt und keine externen Kosten wie beispielsweise Umweltschäden durch die CO₂-Emissionen berücksichtigt werden.

In der Tabelle 3.2-1 sind die Infrastrukturkosten als jährliche Amortisationskosten berücksichtigt. Werden diese Kosten nicht berücksichtigt, verdrängt nur in der Linienklasse Ortsverkehr mit Gelenkbussen in der Taktvariante mit 7.5-Minuten-Takt der dynamische Gelegenheitslader den Dieselbus von Rang eins.

Linienklasse		Taktvariante	Dieselbus	Depotlader	Statischer Gelegenheitslader	Dynamischer Gelegenheitslader	Wasserstoffbus
Regionalverkehr	Standard	60-Min.-Takt	1	3	2	5	4
		30-Min.-Takt	1	3	2	4	5
	Gelenk	60-Min.-Takt	1	3	2	5	4
		30-Min.-Takt	1	4	2	3	5
Ortsverkehr	Standard	60-Min.-Takt	1	2	3	5	4
		30-Min.-Takt	1	3	2	4	5
		15-Min.-Takt	1	5	2	3	5
	Gelenk	30-Min.-Takt	1	3	2	4	5
		15-Min.-Takt	1	5	2	3	5
		7.5-Min.-Takt	1	4	3	2	5

Tabelle 3.2-1: Vergleich der Wirtschaftlichkeit alternativer Antriebssysteme (inklusive Infrastrukturkosten).

3.3 Vergleich der Investitionskosten

Für verschiedene Linienklassen wurden die Infrastrukturkosten in der Grundlagenstudie berechnet. Bei den heute eingesetzten Dieselbussen sind für den Betrieb kaum Infrastrukturanlagen notwendig. Falls bereits eine Wasserstofftankstelle vorhanden ist und die notwendigen Mengen produziert werden können, fallen auch beim Wasserstoffbus keine Investitionskosten in Tankstellen an. Derzeit ist aber davon auszugehen, dass noch zusätzliche Tankstellen errichtet werden müssen.

Für den Betrieb von Batteriebusen sind je nach gewähltem System Lademöglichkeiten im Depot, entlang der Strecke und/oder an den Endhaltestellen notwendig. Neben den Ladestationen ist es oft notwendig, dass die Stromzuleitungen angepasst oder Transformatorenstationen errichtet werden müssen. Depotlader schneiden bei allen Linienklassen besser ab als statische Gelegenheitslader. Dynamische Gelegenheitslader weisen aufgrund der langen Abschnitte mit Fahrleitungen die höchsten Investitionskosten auf. Die Tabelle 3.3-1 zeigt, wie über alle Linienklassen betrachtet die Investitionskosten im Verhältnis zu einander stehen (0 = keine Änderung gegenüber Referenz, ++++ = starke Zunahme).

	Dieselbus	Depotlader	Statischer Gelegenheitslader	Dynamischer Gelegenheitslader	Wasserstoffbus
Infrastruktur	0	+	++	++++	+

Tabelle 3.3-1: Qualitativer Vergleich der Infrastruktur-Investitionskosten alternativer Antriebssysteme.

In der Grundlagenstudie wurden folgende Infrastrukturkosten angenommen:

- Depotlader: 200'000 Franken für den Stromanschluss des Depots und 65'000 Franken pro Ladebox (mit 100 kW)
- Statischer Gelegenheitslader: 380'000 Franken pro Ladestation (mit 250 bis 450 kW)
- Dynamischer Gelegenheitslader: 2 Millionen Franken pro Kilometer Fahrleitung

Diese Werte können als Vergleichswerte verwendet werden. In der Praxis zeigt sich, dass die Kosten für Ladestationen stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängen.

3.4 Vergleich der Betriebskosten

Im Vergleich zu den Dieselnissen sind die Fahrzeugkosten von Elektrobussen wesentlich höher (Stand 2021: zirka doppelte Beschaffungskosten). Die Amortisation dieser Kosten wird in die Betriebskosten eingerechnet. Entsprechend steigen die jährlichen Abschreibungsbeträge und Zinskosten der Fahrzeuge. Gleichzeitig sinken die Energiekosten, ausser beim Wasserstoffbus. Die Unterhaltskosten ändern sich beim Depotlader und statischen Gelegenheitslader nicht wesentlich. Die untenstehende Tabelle 3.4-1

zeigt, wie sich die Kosten gegenüber dem Referenzsystem verändern (+ Zunahme, - Abnahme).

Die Grundlagenstudie kommt basierend auf den heute verfügbaren Modellen zum Schluss, dass Gelegenheitslader (ohne Berücksichtigung von Infrastrukturkosten) 2 bis 13 % höhere Betriebskosten gegenüber dem Dieselbus auslösen (siehe Tabelle 3.4-2). Im Ortsverkehr bewegen sich die Mehrkosten lediglich im tiefen einstelligen Prozentbereich. Beim dynamischen Gelegenheitslader sind die Mehrkosten im gleichen Bereich und es ist eine Abnahme festzustellen, je dichter das Angebot wird. Bei Depotladern sind bei den aktuell verfügbaren Modellen zusätzliche Fahrzeuge zum Austauschen und Nachladen notwendig. Die Folge sind höhere Personalkosten. Entsprechend erhöhen sich die Betriebskosten um bis zu 30 %. Bei Linien mit wenig Angebot und tiefen täglichen Laufleistungen (wie bei der Linienklasse Ortsverkehr mit Standardbus im 30-Minuten-Takt) zeigt sich, dass Depotlader mit Mehrkosten im einstelligen Prozentbereich eingesetzt werden könnten. Beim Gelenkbus sind die Mehrkosten jeweils wesentlich höher. Wasserstoffbusse weisen mit 23 bis 44 % die höchsten Mehrkosten auf. Im Unterschied zu den übrigen alternativen Antriebssystemen muss mit stark erhöhten Energie- und Unterhaltskosten gerechnet werden.

	Dieselbus	Depotlader	Statischer Gelegenheitslader	Dynamischer Gelegenheitslader	Wasserstoffbus
Fahrzeugkosten	0	+++	++	++	++
Energiekosten	0	--	--	--	+++
Personalkosten	0	+	0	0	0
Wartungskosten	0	0	0	+	++

Tabelle 3.4-1: Qualitativer Vergleich der Betriebskosten alternativer Antriebssysteme.

Linienklasse		Taktvariante	Dieselsbus	Depotlader	Statischer Gelegenheitslader	Dynamischer Gelegenheitslader	Wasserstoffbus
RV	Standard	60-Min.-Takt	0 %	15 %	6 %	13 %	29 %
	Gelenkbus	30-Min.-Takt	0 %	28 %	12 %	6 %	44 %
Ortsverkehr	Standard	30-Min.-Takt	0 %	8 %	5 %	5 %	23 %
	Gelenkbus	15-Min.-Takt	0 %	17 %	3 %	2 %	28 %

Tabelle 3.4-2: Prozentuale Veränderung der Betriebskosten alternativer Antriebssysteme (ohne Infrastrukturkosten).

Eine genaue Abschätzung ist von der konkreten Linie und damit von Faktoren wie den Standzeiten, der Umlauflänge oder der Topografie abhängig. So sind auch bei statischen Gelegenheitsladern allenfalls zusätzliche Fahrzeuge notwendig, damit genügend Reserven an den Endhaltestellen zum Nachladen vorhanden sind. Die Werte können daher nur als Richtgrösse verwendet werden. Aufgrund der zahlreichen variablen Kostenblöcke müssen die Betriebskosten in jedem einzelnen Projekt berechnet und ausgewiesen werden.

3.5 Entwicklungen

Anhand von verschiedenen Sensitivitätsbetrachtungen wurde in der Grundlagenstudie ermittelt, welchen Einfluss verschiedene Entwicklungen auf die Wirtschaftlichkeit und die Rangfolge der Systeme haben. Dazu wurde für jede Linienklasse eine Taktvariante ausgewählt und auf deren Basis die Kosten berechnet. Aufgrund der Unsicherheiten wurde darauf verzichtet, Angaben zur zeitlichen Entwicklung zu machen.

3.5.1 Sinkende Kosten für Wasserstoff und Unterhalt

Während die Wasserstoffbusse sich durch eine hohe Flexibilität auszeichnen, schneiden sie bei der Wirtschaftlichkeit aufgrund der hohen Kosten für den Wasserstoff und den Unterhalt vergleichsweise schlecht ab.

In der Grundlagenstudie wurden ein Preis von 10.90 Fr./kg Wasserstoff und Unterhaltskosten von rund 0.70 Fr./km (Standardbus) und 1 Fr./km (Gelenkbus) angenommen. Damit die Wasserstoffbusse eine ähnliche Wirtschaftlichkeit wie Depot- oder Gelegenheitslader erreichen, muss der Preis für den Wasserstoff um 75 % oder die Unterhaltskosten um 80 %

sinken. Werden vermehrt Fahrzeuge (auch ausserhalb des öffentlichen Verkehrs) mit Wasserstoff betrieben, könnte sich die Wirtschaftlichkeit schnell stark verbessern.

3.5.2 Grössere Reichweiten beim Depotlader

Durch die derzeit begrenzte Reichweite müssen beim Depotlader zusätzliche Fahrzeuge eingesetzt werden, damit die Fahrzeuge wieder nachgeladen werden können. Es wurde in den ausgewählten Linienklassen untersucht, was geschehen würde, wenn der Fahrzeugmehrbedarf auf null gesetzt wird.

In den Linienklassen des Regionalverkehrs wird der Depotlader zur besten Alternative gegenüber dem Dieselsbus. Im Ortsverkehr verbessert sich der Depotlader ebenfalls, liegt aber noch hinter dem statischen Gelegenheitslader. Die Sensitivitätsbetrachtung zeigt damit die zunehmende Bedeutung des Depotladers gegenüber dem statischen Gelegenheitslader, dessen Einsatzgebiet sich zunehmend verkleinert.

3.5.3 Grösse der Flotte

Die Vergrösserung einer Flotte (mehrere Linien statt nur eine Linie) hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Rangfolge bei der Wirtschaftlichkeit.

3.5.4 Verlängerung der Nutzungsdauer

Die Verlängerung der Nutzungsdauer der gewählten Systeme führt nicht zu wesentlichen Unterschieden bei der Wirtschaftlichkeit. Änderungen zeichnen sich erst ab einer Nutzungsdauer von mehr als 18 Jahren ab. Ausser bei Trolleybussen wird eine solch lange Einsatzdauer kaum erreicht.

4 Entwicklungspfad

Auf Basis der Stärken und Schwächen, dem Stand und Ausblick (Kapitel 2) und der Wirtschaftlichkeit (Kapitel 3) können die Systeme beurteilt und ein Entwicklungspfad aufgezeigt werden. Die Beurteilung erfolgt in einem nahen Horizont 2021 bis 2025 und längerfristigen Horizont 2025 bis 2030. Der dritte Horizont bis 2040 zeigt ein langfristiges Zielbild auf.

Der Horizont bis ins Jahr 2025 kann mit den vorhandenen Erkenntnissen und der Marktsituation gut eingeschätzt werden. Die Aussagen zu den Horizonten nach 2025 sind aufgrund der raschen technologischen Entwicklung noch mit einigen Unsicherheiten verbunden und sollen zu gegebener Zeit aktualisiert werden. Die Aussagen beziehen sich immer nur auf die anstehenden Beschaffungen. Im Einsatz stehende Fahrzeuge sollen grundsätzlich nicht vorzeitig ersetzt werden.

4.1 Horizont 2021 bis 2025

Auf eine Beschaffung von reinen Dieselnissen ist im Horizont 2021 bis 2025 aus Nachhaltigkeitsgründen zu verzichten, damit eine möglichst rasche Umstellung erfolgen kann. In der Regel sollen Hybridbusse beschafft werden. Hybridbusse stellen kein eigentliches alternatives Antriebssystem dar, helfen aber bei der Reduktion des Dieserverbrauchs und ermöglichen einen ersten Schritt in Richtung Umstellung auf alternative Antriebsformen. Der Kanton erwartet von den Transportunternehmen, dass sie vor einer Ersatz- oder Erweiterungsbeschaffung die Antriebsart gemeinsam mit dem Kanton Aargau besprechen und die finanziellen Folgen offenlegen.

Wo alternative Antriebe eingesetzt werden, eignet sich grundsätzlich der statische Gelegenheitslader gut. Depotlader können dort sinnvoll sein, wo aufgrund des Angebotskonzepts kein oder ein geringer Fahrzeugmehrabedarf nötig ist. Im Rahmen der Planung der Projekte sind die Betriebskosten zu berechnen und die wirtschaftlichste Variante zu ermitteln.

Da Fahrzeuge mit alternativen Antrieben auch die Emissionen von Lärm und Schadstoffen reduzieren, sind vor allem Linien im urbanen Raum umzustellen. Zudem zeigt sich in der Grundlagenstudie, dass Gelegenheitslader auch längerfristig auf Linien mit hohem Takt und grossen Gefässgrössen (Gelenkbusse) wirtschaftlich eingesetzt werden können. So kann sichergestellt werden, dass in diesem Horizont

realisierte Ladestationen längerfristig wirtschaftlich genutzt werden können.

Wasserstoffbusse sind bei der derzeitigen Kostenstruktur noch zu wenig wirtschaftlich. Sinken die Kosten jedoch, sind erste Projekte denkbar. Dynamische Gelegenheitslader sind aufgrund der im Kanton Aargau nicht vorhandenen Oberleitungen und der hohen Kosten nicht im Fokus, sind aber nicht völlig ausgeschlossen.

Bis 2025 sollen zirka 10 % des Angebots (10 % der angebotenen Kurskilometer) auf alternative Antriebe umgestellt werden.

4.2 Horizont 2025 bis 2030

Im Horizont zwischen 2025 und 2030 könnten zunehmend Depotlader und Brennstoffzellenbusse beschafft werden, je nach Technologie- und Kostenentwicklung. Solche Systeme sind insbesondere für Linien mit tiefer Angebotsdichte geeignet. Dies können Regionalverkehrslinien oder Quartierbuslinien im urbanen Raum sein. Statische Gelegenheitslader werden in diesem Horizont nach jetzigem Kenntnisstand vor allem auf Linien mit dichtem Takt und Gelenkbusen eingesetzt. Es ist anzunehmen, dass die Kosten für Fahrzeuge mit alternativen Antriebssystemen sinken und der dynamische Gelegenheitslader aufgrund der hohen Infrastrukturkosten weiterhin keine wirtschaftliche Alternative sein wird.

Nach 2025 sollen keine Diesel- oder Hybridbusse mehr beschafft werden. In Ausnahmefällen können noch Diesel- oder Hybridbusse beschafft werden, sofern keine sinnvollen Alternativen bestehen. Am Ende des Horizonts sollen rund die Hälfte des Angebots (50 % der Kurskilometer) auf alternative Antriebe umgestellt sein.

4.3 Horizont 2030 bis 2040 (Zielbild)

Die Entwicklungen der einzelnen Systeme nach 2030 können heute nicht genügend genau abgeschätzt werden und werden im Entwicklungspfad nicht näher aufgezeigt. Auch nach 2030 werden selbst bei der raschen Umstellung der Flotten noch eine beachtliche Zahl an Dieselfahrzeugen im Einsatz stehen.

Die Umsetzung des Entwicklungspfads ermöglicht, dass der Busverkehr im Kanton Aargau nahezu vollständig CO₂-neutral betrieben werden kann. Nach 2040 sind nur noch einzelne Diesel- oder Hybridbusse im Einsatz.

	Horizont 2021 bis 2025		Horizont 2025 bis 2030	
	Ortsverkehr (Priorität 1)	Regionalverkehr (Priorität 2)	Ortsverkehr (Priorität 1)	Regionalverkehr (Priorität 2)
Dieselfahrzeug	Nur wo keine Alternativen bestehen		keine Beschaffungen (begründete Ausnahmen möglich)	
Hybridbus	Geeignet		keine Beschaffungen (begründete Ausnahmen möglich)	
Depotlader	Geeignet (falls Reichweite ausreichend)		Geeignet (falls Reichweite ausreichend)	
Statischer Gelegenheitslader	Geeignet	falls langfristig wirtschaftlich	Geeignet, v.a. für Linien mit dichtem Angebot	Wo wirtschaftlich sinnvoll
Dynamischer Gelegenheitslader	Nicht im Fokus		Nicht im Fokus	
Wasserstoffbus	Abhängig von Markt- und Preis- entwicklung	Auf Nebenlinien denkbar	Abhängig von Markt- und Preisentwicklung	
Synthetische Treibstoffe	Verfügbarkeit der Treibstoffe nicht gegeben		Verfügbarkeit der Treibstoffe nicht gegeben	

Tabelle 4.3-1: Entwicklungspfad.

5 Vorgehen bei der Umsetzung

Dieses Kapitel zeigt auf, wie der Entwicklungspfad gemäss Kapitel 4 in Zusammenarbeit zwischen Transportunternehmen und Kanton umgesetzt werden kann.

5.1 Koordination der Projekte

Die Transportunternehmen informieren den Kanton möglichst früh über anstehende Fahrzeugbeschaffungen und erste Projektideen (siehe Ablauf in Abbildung 5.5.-1). Gemeinsam soll festgelegt werden, bei welchen Linien eine Umstellung auf alternative Antriebe vorgesehen ist. Der Kanton führt auf dieser Basis eine Projektliste. Diese wird als Grundlage für den Aufgaben- und Finanzplan und die Eingabe in die Agglomerationsprogramme verwendet. Mit der Projektliste kann sichergestellt werden, dass die Finanzierung zum Umsetzungszeitpunkt sichergestellt werden kann und eine gute Abstimmung zwischen den Ersatzbeschaffungen der Transportunternehmen und den Finanzplanungen des Kantons erreicht wird.

5.2 Vorgesuch

Liegen erste Projektideen vor und sind diese in der Projektliste des Kantons enthalten, können die Projekte ausgearbeitet werden. Vorgängig soll eine Gesamtbetrachtung des Netzes eines Transportunternehmens gemacht werden. Darin kann beispielsweise untersucht werden, ob ein oder mehrere Systeme eingesetzt werden sollen und wie ein Anteil an flexibel einsetzbaren Fahrzeugen sichergestellt werden kann (zum Beispiel für Bahnersatz, Veranstaltungen und Baustellen). Von einem Zielbild ausgehend, können anschliessend erste Umsetzungsetappen abgeleitet werden. Mit diesem Vorgehen kann sichergestellt werden, dass die einzelnen Projekte mit einer Gesamtumstellung aufwärtskompatibel sind.

Im Vorgesuch ist die Systemwahl zu verifizieren und die ungefähren Kosten auszuweisen. Für die Kosten sind Erfahrungswerte oder Kostenansätze aus vergleichbaren Projekten zu verwenden. Wo diese nicht vorhanden sind, sind nachvollziehbare Annahmen zu treffen.

Der Kanton kann die Erarbeitung der Grundlagen und Projekte mit einem finanziellen Beitrag gestützt auf das Gesetz über den öffentlichen Verkehr (öVG, SR 995.100) vom 02.09.1975 (Stand 01.01.2018) unterstützen. Bei den Transportunternehmen sind unter Umständen zusätzliche personelle Ressourcen (Eigenleistungen) notwendig. Diese sollen ebenfalls im Vorgesuch aufgezeigt werden.

Die Transportunternehmen erarbeiten das Vorgesuch zusammen mit dem Kanton als Besteller und geben diese zur Genehmigung ein. Der Kanton beurteilt das Vorgesuch anschliessend anhand folgender Kriterien:

- Übereinstimmung mit dem Entwicklungspfad (Systemwahl)
- Weiteren Kriterien bei der Eignungsklä rung der Linie (Art der Linie, Topografie, siehe Kapitel 4.4)
- Abstimmung mit Ersatzplanung der Flotte
- Einbettung in Gesamtersatz der Flotte
- Wirtschaftlichkeit (Auswirkungen der Betriebskosten, allenfalls Höhe der Investitionskosten)

Bei der Umstellung von Dieselmotoren auf alternative Antriebssysteme sind unter anderem Anpassungen an den Werkstätten, an der Leitstelle und an IT-Systemen nötig. Auch auf die Betriebsprozesse bei Bahnersatz- und Extrafahrten sowie bei Baustellen hat die Umstellung Auswirkungen. Die finanziellen Konsequenzen dieser Anpassungen sind ebenfalls grob aufzuzeigen.

Mit dem genehmigten Vorgesuch bestätigt die Abteilung Verkehr, dass sie die notwendigen Verfahren nach Abschluss der Ausschreibung einleitet. Damit erhalten die Transportunternehmen eine gewisse Planungssicherheit für die nächsten Schritte. Die definitive Zusage kann erst mit einer Betriebsmittelgenehmigung beziehungsweise Zusicherung zum Investitionskredit erfolgen.

Handelt es sich bei den betroffenen Linien um Regionalverkehrslinien, ist auch der Bund einzubeziehen. Bei grenzüberschreitenden Linien sind die beteiligten Nachbarkantone einzubeziehen. Aufgrund von unterschiedlichen Prozessen und Finanzierungsarten ist dafür genügend Zeit einzuplanen.

5.3 Betriebsmittelgesuch

Anschliessend können die Transportunternehmen ihre Projekte ausarbeiten, die notwendigen Ausschreibungen vornehmen und anschliessend Gesuche über die Finanzierung von Umstellungsprojekten eingeben (Betriebsmittelgenehmigung).

Ein Gesuch muss einen Businessplan und eine Vollkostenrechnung umfassen. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Kosten sind mit Offerten zu belegen. Wo Angaben fehlen, können Annahmen getroffen werden (mit entsprechender Erläuterung).
- Die Investitionskosten und allenfalls ein Kostenteiler werden aufgezeigt (Eigenleistungen/Reserven, Beiträge Gemeinden, Drittfinanzierungen und Beitrag aus der Spezialfinanzierung öV-Infrastruktur). Eine finanzielle Mitbeteiligung der lokalen Elektrizitätswerke ist anzustreben.
- Bei Haltestellenumbauten an Gemeindestrassen müssen die Gemeinden mindestens den Anteil für den gemäss Bundesgesetz über die Beseitigung von Benachteiligungen von Menschen mit Behinderungen (BehiG, SR 151.3) vom 13. Dezember 2002 (Stand am 1. Juli 2020) konformen Umbau finanzieren, zusätzliche Beiträge sind anzustreben.
- Die Betriebskosten werden transparent ausgewiesen. Die Berechnungen sind die Basis für die Offerten und die Abgeltungen. Einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebskosten hat die Abschreibedauer der Fahrzeuge. Diese soll auf die vom Hersteller angegebene Lebensdauer abgestimmt werden (14 bis 16 Jahre). Da in der Regel ein Batteriewechsel notwendig ist, kann die Batterie auf die Hälfte der Lebensdauer des Fahrzeugs abgeschrieben werden.

Die Zustimmung erfolgt nach Art. 17, Verordnung über die Abgeltung des regionalen Personenverkehrs (ARPV, SR 745.16) vom 11. November 2009 (Stand am 15. Dezember 2019). Je nach Linie ist zusätzlich die Zustimmung des Bundes oder von Nachbarkantonen notwendig.

Die Ladeinfrastruktur erfolgt bei den ersten Projekten über die Spezialfinanzierung öV-Infrastruktur. Dazu laufen neben dem Betriebsmittelgesuch die kantonsinternen Prozesse für die Genehmigung der Investitionskredite separat. Bei einem Beitrag von weniger als zwei Millionen Franken ist ein Regierungsentscheid notwendig. Der Bewilligungsprozess nach Einreichung der definitiven Unterlagen dauert rund drei Monate. Liegt der Betrag über zwei Millionen Franken muss der Grosse Rat über die Vorlage entscheiden. Je nach Höhe des Betrags ist infolge unterschiedlicher Abläufe von der Eingabe der definitiven Unterlagen bis zum Entscheid von 9 bis 12 Monaten auszugehen. Für die

Auszahlung des kantonalen Beitrags muss ein unterzeichneter Vertrag gemäss Kapitel 5.4 vorliegen.

Ab zirka 2025 sollen die Projekte vollständig über die ordentlichen Abgeltungen finanziert werden. Das heisst, dass auch die Abschreibung der Ladeinfrastruktur über die Abgeltungen erfolgt. Mit zunehmendem Einsatz von alternativen Antrieben und der Aufhebung der Mineralölsteuer-Rückerstattung kann von einer Angleichung der Kosten der alternativen Antriebe und des Dieselmotors ausgegangen werden. Die Finanzierung über die Abgeltungen erfolgt in Abstimmung mit dem Bund, der ebenfalls auf diese Weise alternative Antriebe finanziert.

5.4 Eigentumsfragen

Im Unterschied zu den Eisenbahnen verfügen die Busbetriebe über keine Infrastrukturgesellschaften. Die durch den Kanton über die Spezialfinanzierung öV-Infrastruktur finanzierte Infrastruktur geht damit ins Eigentum der Transportunternehmen über und es muss sichergestellt werden, dass diese Infrastruktur auch langfristig dem öffentlichen Verkehr dient. Mit den Transportunternehmen wird daher eine vertragliche Vereinbarung über folgende Punkte getroffen:

- Nutzung durch Dritte: Die Ladestation muss bei Bedarf zu angemessenen Konditionen anderen Nutzenden, insbesondere anderen Transportunternehmen zur Verfügung gestellt werden.
- Wird die Ladestation innerhalb einer vorgegebenen Frist nicht mehr benutzt, muss der Restwert der Ladestation dem Kanton zurückbezahlt werden (bei Beiträgen aus der Spezialfinanzierung öV-Infrastruktur).
- Wird die betroffene Linie ausgeschrieben, muss die Infrastruktur dem neuen Betreibenden zum Zeitwert übergeben werden.
- Der Verkauf der Ladeinfrastruktur an Dritte darf nur mit der Zustimmung des Kantons erfolgen.

Es wird ein entsprechender Mustervertrag ausgearbeitet. Dieser stellt die Bedingung dar, dass ein Beitrag des Kantons ausbezahlt werden kann.

Werden die Kosten nur noch via Abgeltungen geregelt, werden die Bestimmungen über den Eigentumsübertrag mit der Betriebsmittelgenehmigung geregelt.

5.5 Umsetzung

Liegt die Genehmigung durch den Kanton vor, können die Projekte umgesetzt werden. Für die Umsetzung und den Betrieb sind die Transportunternehmen verantwortlich. Der Kanton unterstützt und begleitet die Umsetzung.

Zwischen dem Besteller und den Transportunternehmen soll ein regelmässiger Austausch stattfinden, um gegenseitig von den Erfahrungen zu profitieren.

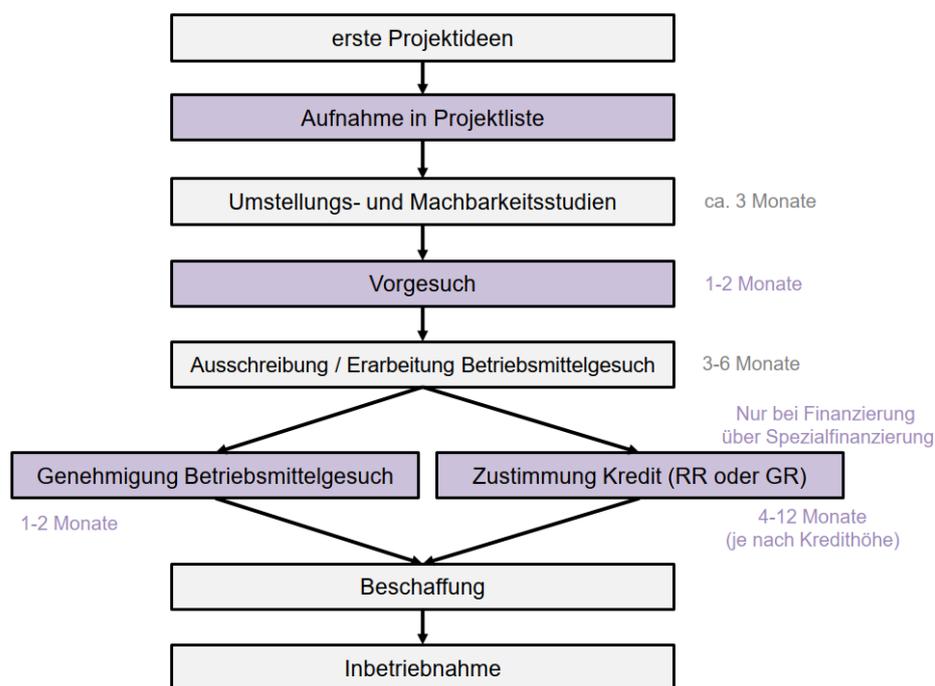


Abbildung 5.5-1: Schema zeitlicher Ablauf.

6 Finanzierung

6.1 Investitionskosten

Die Finanzierung der Ladeinfrastruktur soll bei den ersten Projekten über die Spezialfinanzierung öV-Infrastruktur gestützt auf das Gesetz über den öffentlichen Verkehr (öVG) vom 02.09.1975 (SR 995.100) erfolgen. Die Fahrzeugkosten werden wie bisher über die Abgeltungen finanziert. Liegt die Haltestelle an einer Gemeindestrasse, kann nur der Infrastrukturteil, welcher im direkten Zusammenhang mit der Elektrifizierung steht, über die Spezialfinanzierung bezahlt werden. Der Umbau der Haltestellenkante (gemäss BehiG vom 13. Dezember 2002, SR 151.3) und die Haltestellenausstattung (Wartehäuschen etc.) müssen wie bei anderen Umbauten durch die Gemeinden finanziert werden.

Bei Ortsverkehrslinien sollen nach Möglichkeit auch Beiträge aus den Agglomerationsprogrammen beantragt werden. Da die Projekte mit Beiträgen aus den Agglomerationsprogrammen beim Bund eingegeben werden müssen, ist ein Planungsvorlauf von drei bis vier Jahren notwendig. Daneben sind auch Partnerschaften oder Beiträge von den lokalen Elektrizitätswerken anzustreben. Vorstellbar sind vor allem Eigenleistungen bei der Planung, günstigere Strompreise oder allgemeine Beiträge.

Die Investitionen in die Ladeinfrastruktur werden je nach Finanzierungsart (über Spezialfinanzierung oder Abgeltungen) in den Aufgaben- und Finanzplänen berücksichtigt.

6.2 Betriebskosten

Beim Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antriebssystemen entstehen zum heutigen Zeitpunkt gegenüber dem Dieselbus Mehrkosten (siehe Kapitel 3.4). Längerfristig kann angenommen werden, dass diese Betriebsmehrkosten abnehmen und sich den Kosten der heutigen Dieselbusse annähern. Mit der Revision des CO₂-Gesetzes ist vorgesehen, dass die Rückerstattung der Mineralölsteuer ab 2026 für den Ortsverkehr und ab 2030 für den Regionalverkehr aufgehoben werden soll.

Zusätzlich fallen Unterhaltskosten der Ladestationen an. Diese sind in den Abgeltungen zu berücksichtigen.

Die Grundlagenstudie hat gezeigt, dass alternative Antriebssysteme mit Mehrkosten von bis zu 10 % umgesetzt werden können, wenn die Infrastruktur separat finanziert wird (siehe Kapitel 3.4). Gleichzeitig werden bis 2025 erst einzelne Linien umgestellt. Die höheren Betriebskosten müssen bis ins Jahr 2025 innerhalb der gültigen Werte der Aufgaben- und Finanzpläne abgedeckt werden.

Für Projekte nach 2025 ist anzunehmen, dass die Betriebskosten für alternative Antriebe aufgrund des zunehmenden Linieneinsatzes sinken und sich denjenigen der heutigen Dieselbusse angleichen. Bei einer Aktualisierung des Umsetzungskonzepts müssen die Betriebskosten der umgesetzten Projekte genauer analysiert und ein allfälliger Abgeltungsmehrbedarf im Rahmen der künftigen Aufgaben- und Finanzpläne eingeplant werden.

7 Projekte

7.1 Ersatzbeschaffungen

Bei der Bestimmung, welche Linien zuerst umgestellt werden, ist der Ersatzzeitpunkt der bestehenden Flotte zu beachten. Grundsätzlich sollen Fahrzeuge nicht vor Ablauf der Abschreibefristen ersetzt werden. Als Grundlage für die Projektliste wurden daher die Ersatzbeschaffung der Transportunternehmen Aargau Verkehr AG (AVA), Busbetrieb Aarau AG (BBA), Regionalbus Lenzburg AG (RBL), Regionale Verkehrsbetriebe Baden-Wettingen AG (RVBW) und Zugerland Verkehrsbetriebe AG (ZVB, nur Linien im Freiamt) sowie von PostAuto Nord untersucht.

Die Analyse der zu ersetzenden Fahrzeuge zeigt, dass im Horizont 2021 bis 2025 sehr viele Fahrzeuge bei den Transportunternehmen AVA, BBA, RBL, RVBW und ZVB zu ersetzen sind. Hier besteht die Schwierigkeit, dass noch nicht für alle Linien marktreife, erprobte Fahrzeuge zur Verfügung stehen und die Erfahrungen für grosse Beschaffungen noch fehlen. Gerade die BBA und die RVBW verfügen über Linien im urbanen Raum, die gemäss Entwicklungspfad prioritär umzustellen sind. Nach Möglichkeit sollen die vorhandenen Fahrzeuge etwas länger in Betrieb gehalten werden, damit die Beschaffungen hinausgezögert werden können und von der technischen Entwicklung profitiert werden kann.

Im Horizont 2025 bis 2030 stehen nur wenige Ersatzbeschaffungen bei den Transportunternehmen AVA, BBA, RBL, RVBW und ZVB an. In einzelnen Jahren müssen bei diesen Transportunternehmen fast keine Fahrzeuge ersetzt werden.

Bei PostAuto Nord zeigt sich gemäss Grafik 7.1-2 über die ganze betrachtete Zeitspanne eine konstantere Anzahl zu ersetzenden Fahrzeuge. Nicht berücksichtigt sind die Fahrzeuge, die auf den Linien 215 und 245 (ZVV) und im Raum Rheinfelden eingesetzt werden. Bis ins Jahr 2024 sind mehrheitlich Normalbusse zu ersetzen, während in den Jahren 2025 bis 2028 mehrheitlich Gelenkbusse ersetzt werden müssen.

Da die Ersatzbeschaffungen bei AVA, BBA, RBL, RVBW und ZVB ab dem Jahr 2023 stark zurückgehen, können anschliessend vermehrt Projekte bei PostAuto umgesetzt werden. Aufgrund der grossen Zahl zu ersetzenden Fahrzeugen können allenfalls Fahrzeuge innerhalb des Unternehmens verschoben werden. Bei PostAuto eignen sich nicht alle Linien für eine rasche Umstellung, da viele Linien einen sehr hohen Überlandanteil aufweisen und diese gemäss Entwicklungspfad im Horizont 2021 bis 2025 nicht im Fokus sind. Die Umstellungen bei PostAuto sind daher stark von der Liniencharakteristik abhängig und soll stärker auf Synergiepotentiale ausgerichtet werden (Umbauten von Depotanlagen oder öV-Drehscheiben).

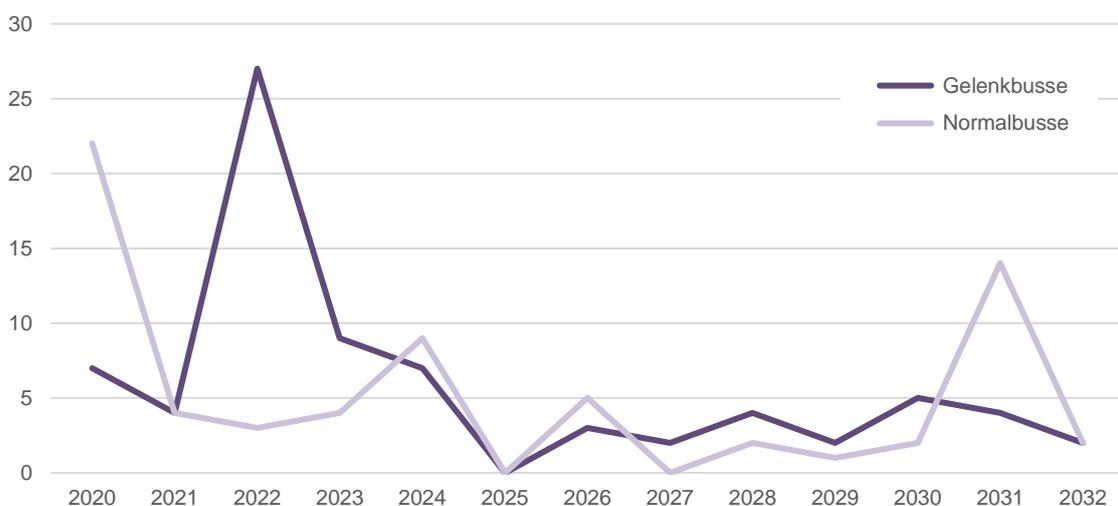


Abbildung 7.1-1: Jährliche Ersatzbeschaffungen bei den Transportunternehmen AVA, BBA, RBL, RVBW und ZVB.

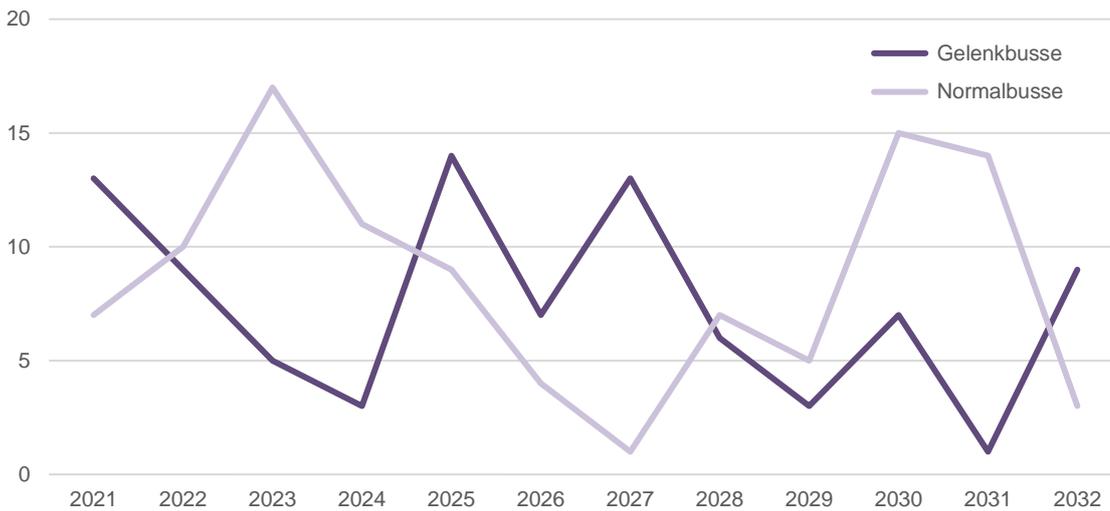


Abbildung 7.1-2: Jährliche Ersatzbeschaffungen bei PostAuto Nord.

7.2 Projektliste

Die Projektliste zeigt, bei welchen Linien in den nächsten Jahren eine Umstellung auf alternative Antriebe geprüft werden soll. Sie basiert auf dem Entwicklungspfad, dem Ersatzzeitpunkt der vorhandenen Fahrzeuge und der Abstimmung mit Bahnhofprojekten, mit welchen Synergiepotentiale bestehen.

Für die Budgetierungsprozesse beim Kanton ist jeweils das nächste Jahr ausschlaggebend. Zusätzlich erfolgt jeweils ein Ausblick auf die folgenden drei Jahre. Bis zu einer Aktualisierung des Umsetzungskonzepts im Jahr 2025 ist daher ein Ausblick ins Jahr 2028 notwendig.

Nach 2025 sollen Projekte grundsätzlich über die Abgeltungen finanziert werden. Projekte im Zeitraum mit Umsetzung zwischen 2028 und 2032 können in die Agglomerationsprogramme der 5. Generation eingegeben werden. Möglich ist die Eingabe nur für Linien im Ortsverkehr, da sich der Bund an diesen nicht via Abgeltungen beteiligt. Da der Bund die Umsetzung der Projekte überprüft, sind nur Projekte mit hoher Umsetzungssicherheit einzugeben.

Linie	Schlüssel			Art	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	System	projekte	Kosten											
RVBW-Linie 5	SG		1'500'000	OV	X									
PostAuto Brugg Süd	SG		250'000	OV	X									
RVBW-Linie 8 (Ersatz gemieteter Bus)	SG		keine	OV		X								
RBL (1. Etappe)	offen		offen	OV/RV			X		X					
BBA-Linien 1 und 2	DL		offen	OV			X	X						
RVBW Normalbus- Linien (2. Etappe)	offen		offen	OV			X	X						
PostAuto weitere Linien Brugg	offen		offen	OV/RV			X	X						
PostAuto Unteres Fricktal	offen		offen	RV				X	X	X				
PostAuto Oberes Fricktal	offen		offen	RV				X	X	X				
RVBW Gelenkbus- Linien (1. Etappe)	offen		offen	OV/RV					X	X				
AVA (Zofingen, 1. Etappe)	offen		offen	OV/RV						X	X			

Linie	Schlüssel				2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	System	projekte	Kosten	Art										
PostAuto Baden Nord und Süd	offen		offen	RV						X	X	X		
RBL (2. Etappe)	offen	Umbau Bahnhof	offen	RV								X		
RVBW-Normalbus-Linien (3. Etappe)	offen		offen	OV									X	

Erläuterungen

SG = statischer Gelegenheitslader, DL = Depotlader

OV = Ortsverkehr, RV = Regionalverkehr

