KNORR-BREMSE

Finanziert von der Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Individueller Schlussbericht

FlexSbus-LR:
Flexibler Schienenbus für den ländlichen Raum

Teilvorhaben:
Entwicklung und Konzeption Brems-, Tür- und Fahrzeugsteuerungssysteme

Förderkennzeichen: 19I21005B

Projektmanager/ Systemingenieur	Projektcontroller	Innovation Manager
Volker Zudse Digital signiert von: Volker Zudse Name: CN = Volker Zudse email = volker.zudse@knorr-bremse.com C = DE O = Knorr-Bremse SfS GmbH OU = MUC-R/SYS02 Datum: 2025.10.01 11:08:41 +02'00'	Juan Salamano Digital unterschrieben von Juan Salamano Datum: 2025.10.07 11:25:24 +02'00'	Martin Ertl Digital signiert von: Martin Ertl Name: CN = Martin Ertl email = martin.ertl@knorr-bremse.com C = DE O = Knorr-Bremse SfS OU = R/IM Datum: 2025.10.01 11:19:43 +02'00'
Hr. Volker Zudse	**Hr. Juan Salamano**	**Hr. Martin Ertl**

Inhaltsverzeichnis

I. Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

II. Eingehende Darstellung

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

4. des voraussichtlichen Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11.

Individueller Schlussbericht der Knorr-Bremse SfS GmbH

FlexSbus-LR - Flexibler Schienenbus für den ländlichen Raum

I. Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung, der Bau und die Demonstration eines flexiblen Schienenbusses für den ländlichen Raum mit dem Zweck, stillgelegte Schienenstrecken zu reaktivieren und damit die dort lebende Bevölkerung wieder in den ÖPNV einzubeziehen. Solche Fahrzeuge sind aktuell am Markt nicht verfügbar, werden jedoch für die schrittweise Reaktivierung von stillgelegten Strecken sowie zur Takterhöhung auf bestehenden Nebenstrecken künftig benötigt.

Durch attraktive und vernetzte Mobilitätslösungen lässt sich in ländlichen Räumen sowohl dem Klimawandel als auch der Wohnraumverknappung in Ballungszentren begegnen.

Die Anfrage der RWTH Aachen bei der Knorr-Bremse SfS GmbH München, sich mit ihrem Know-how gemeinsam mit weiteren namhaften Partnern aus der Wirtschaft in das Projekt einzubringen und damit die Möglichkeit zu schaffen, bei bewährter Technik auch einmal ungewöhnliche Wege gehen zu können, stieß nicht nur im Management sofort auf großes Interesse und wurde gerne positiv bestätigt.

Innerhalb dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekts soll ein Fahrzeug mit technischen Innovationen und deren Interaktion untereinander aufgebaut und dessen Funktionsfähigkeit nachgewiesen werden. Insbesondere die Möglichkeit der Trennung von Chassis und Fahrgastzelle stellt einen im Personenverkehr neuartigen Ansatz dar.

Der Beitrag von Knorr-Bremse bei diesem Förderprojekt besteht in der Bereitstellung einer vollständigen Bremsausrüstung einschließlich der Standarddokumentation sowie dem erforderlichen Know-how-Transfer zur Implementierung dieser Ausrüstung in das Fahrzeug – einschließlich der notwendigen statischen und dynamischen Inbetriebnahme. Zudem unterstützt Knorr-Bremse bei der Entwicklung der Brems-Applikations-SW und zur Klärung bei allen Fragen zum System Bremse. Entgegen dem ursprünglichen Teilvorhaben wurden die Türsysteme nicht von Knorr-Bremse geliefert.

Das Projekt wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Eine grundlegende Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung und das Erreichen der gesteckten Ziele war der gemeinsame Wille und die hohe Motivation innerhalb des Konsortiums, das Projektziel innerhalb des vorgesehenen Zeitrahmens zu realisieren.

Unter der Leitung der RWTH wurde eine konsequente Kommunikations- und Problemlösungskultur etabliert, wodurch Herausforderungen frühzeitig erkannt und effizient gelöst wurden. Themen wurden nie aufgeschoben, sondern zeitnah adressiert. Die Disziplin der Projektpartner (RWTH vertreten durch die Institute ifs und ISEA, LBBZ, Schäffler, ISATEC, MV-Engineering, BVV) regelmäßig und engagiert am wöchentlichen Jour fixe teilzunehmen, war durchgängig hoch und trug wesentlich zum Gesamterfolg bei.

Eine besondere Entlastung für Knorr-Bremse stellte die Bereitschaft der RWTH dar, die Bremsapplikations-Software eigenständig zu programmieren. Mitarbeitende von Knorr-Bremse standen dabei über den gesamten Projektverlauf hinweg beratend und schulend zur Seite.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die etablierten Prozesse innerhalb der Knorr-Bremse SfS GmbH haben die Planung und Strukturierung des Vorhabens erheblich vereinfacht.

Obwohl es sich beim FlexSbus-LR um ein Forschungs- und Entwicklungsprojekt handelt, wurde es intern bei Knorr-Bremse von Beginn an von allen beteiligten Mitarbeitenden als vollwertiges Kundenprojekt betrachtet und entsprechend engagiert unterstützt.

Gerade bei den Neuentwicklungen – verbunden mit zeitintensiven, aber unerlässlichen Prüf- und Qualitätssicherungsmaßnahmen – war dieses Engagement eine große Hilfe und trug wesentlich zur erfolgreichen Umsetzung bei.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

• Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Die Verwendung einer Mg-Bremse zur Unterstützung elektrodynamischer und pneumatischer Bremssysteme ist gängige Praxis und wird beispielsweise bei Hochgeschwindigkeitszügen standardmäßig eingesetzt. Neuartig ist hingegen der Einsatz einer Mg-Bremse in einem Spezialfahrzeug wie diesem Schienenbus – bislang war dies eher unüblich. Aufgrund der geforderten hohen Bremsverzögerung von 2,8 m/s² war sie in diesem Fall jedoch unerlässlich.

Eine besondere Herausforderung stellte der äußerst begrenzte Bauraum dar, der eine kompakte Neukonstruktion erforderte. In enger Abstimmung mit der RWTH und dem LBBZ wurde der verfügbare Bauraum definiert und von Knorr-Bremse optimal ausgenutzt. Nach erfolgreicher Entwicklung, Prototypentests sowie den erforderlichen Prüf- und Abnahmeprozessen wurde die Mg-Bremse erfolgreich installiert und in Betrieb genommen.

Eine weitere Neuentwicklung im Rahmen des Projekts ist die bedarfs- und dadurch auch gewichtsoptimierte Luftversorgungsanlage. Zentrales Element ist ein kleiner, ölfrei arbeitender Kompressor, der ursprünglich ausschließlich in Streckenlokomotiven zum Anheben des Stromabnehmers an die Oberleitung eingesetzt wurde. Diese kompakte Einheit benötigt nur wenig Platz im Chassis des FlexSbus-LR. Um thermischen Problemen bei aufgesetzter Fahrgastzelle vorzubeugen, wurden zusätzlich zwei Elektrolüfter in das Chassis integriert.

• Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Die Entwicklungsstandorte für das Projekt waren München (Bremssteuerungen und Luftaufbereitung), Mödling (Sandung und Magnetschienenbremse) sowie Lyss (Bremselektronik).

Die an diesen Standorten tätigen, erfahrenen Konstrukteurinnen und Konstrukteure orientierten sich bei der Entwicklung an den jeweils gültigen Normen, internen Konstruktionsrichtlinien sowie an modernen CAD-Systemen. Die technische Auslegung wurde durch umfassende Berechnungen abgesichert. Dazu zählten insbesondere:

- die Bremsberechnung,
- die Luftbedarfsabschätzung sowie
- die thermische Berechnung und Prüfstandsimulation zum Nachweis der Eignung des projektierten Bremssystems.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Eine Zusammenarbeit mit externen Stellen außerhalb des Knorr-Bremse-Konzerns bzw. außerhalb des Konsortiums hat nicht stattgefunden.

II. Eingehende Darstellung

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Ziel des Projekts war es, einen Schienenbus mit einem neuartigen, innovativen Bremssystem auszustatten. Aufgrund der spezifischen Anforderungen des Fahrzeugs waren hierfür mehrere Neuentwicklungen erforderlich – darunter eine kompakte, leistungsfähige Magnetschienenbremse (Mg-Bremse) sowie eine neuartige, ölfrei arbeitende kompakte Luftversorgungsanlage.

Bezugnehmend auf die für Knorr-Bremse relevanten und im Projektverlauf abgearbeiteten Arbeitspakete gemäß Vorhabenbeschreibung vom 22.09.2020:

AP 1.1: Entwicklung des Chassis

Entwicklung Bremssystem: Das Konzept stellt als übergeordnete Leistungsanforderung eine mindestens zu erreichende Bremsverzögerung an das Bremssystem. Entsprechend beinhaltet die Entwicklung des Bremssystems die Auswahl eines Wirkmechanismus sowie die Ermittlung der bauteilspezifischen Anforderungen aller Komponenten einer Bremse, die die geforderte Verzögerung in Kombination mit der regenerativen Bremse für das Fahrzeug ermöglichen kann. Die Bremse sowie eventuell benötigte zusätzliche Bauteile sind so auszuwählen, dass die ermittelten Anforderungen erfüllt werden.

Zur Umsetzung dieser Aufgabe wurden von Knorr-Bremse folgende Massnahmen ergriffen:

1. Ausarbeitung und Festlegung der Fahrzeugspezifikation.
2. Projektierung der erforderlichen Bremsausrüstung sowie deren Subsysteme (z. B. Luftversorgung) auf Basis der festgelegten Spezifikation.
3. Rechnerischer Nachweis zur Eignung der Bremsausrüstung, einschließlich Bremsberechnung, thermischer Berechnung und Luftbedarfsabschätzung.
4. Definition der notwendigen Neuentwicklungen, insbesondere der Luftversorgungsanlage und der Magnetschienenbremse (Mg-Bremse), unter Berücksichtigung der sehr kompakten Bauräume.
5. Neuentwicklung einer 24V-Magnetbremsansteuerung (iRCB).
6. Konstruktive Abstimmung zwischen Knorr-Bremse und dem Konsortium.
7. Start der Neuentwicklungen an den österreichischen Entwicklungsstandorten.
8. Festlegung der erforderlichen Selectron-Elektronik für das TCMS, die Bremssteuerung und den Gleitschutz.
9. Konstruktive Anpassung bestehender Technik, z. B. der Bremsscheibe, der Bremszange und der Sandungsanlage.
10. Erstellung sämtlicher Dokumentationen und Beschreibungen.
11. Prüfung und Abnahme der Neuentwicklungen mit entsprechender Dokumentation der Ergebnisse.
12. Beschaffung und Lieferung der Bremsausrüstung an das LBBZ.

Für die Umsetzung dieser Entwicklungen sind Personalkosten an den Knorr-Bremse-Entwicklungsstandorten München, Mödling (Österreich) und Lyss (Schweiz) angefallen.

Entwicklung Fahrzeugsteuerung inkl. Software: Das IFS benötigt bei der Entwicklung der Fahrzeugsteuerung Unterstützung, um die von Knorr-Bremse und Schaeffler gelieferten Komponenten funktional zu integrieren. Diese können dann von der Fahrzeugsteuerung angesteuert werden. Gemeinsam wurde eine Softwarearchitektur für eine kombinierte Brems- / Antriebssteuerung entwickelt, die vom IFS dann selbständig verfeinert wurde.

AP 1.3: Entwicklung elektrisches Antriebssystem

Das gesamte Antriebsystem bedarf einer Neuentwicklung, da ein System entsprechend den Anforderungen nicht zur Verfügung steht. Die zugehörigen Komponenten wie Motor, Batteriesystem, Ladevorrichtung und Integration in die Fahrzeugsteuerung einschließlich des regenerativen Bremsens stehen als Einzelkomponenten zur Verfügung und müssen mechanisch, elektrisch (Leistung und Signal) sowie funktional verbunden werden.

Ziel dieses Arbeitspaketes ist die Auslegung der Einzelkomponenten, die Anpassung der jeweiligen Schnittstellen und deren Integration untereinander. Die Integration umfasst neben der physischen Integration auch die Erstellung entsprechender Softwaremodule, die ein zusammenhängendes Arbeiten erst ermöglichen.

AP 1.4: Übergreifende Entwicklungsaufgaben

Vorbereitung Automatisches Fahren (Sensorik, Software, Schnittstelle Fahrzeugsteuerung):
Um in einem zukünftigen Projekt eine Erweiterung des Fahrzeugkonzepts um die Fähigkeit zur autonomen Fahrt zu ermöglichen, sollen bereits jetzt Vorkehrungen bei der Entwicklung von Chassis und Fahrgastzelle vorgenommen werden. Dazu ist die Einplanung des Bauraums und der Strom- und Datenverbindung für Sensorik und Aktorik nötig. Ebenso müssen in der Fahrzeugsteuerung sowohl in der Hardware als auch in der Software geeignete Schnittstellen vorgesehen werden, um die Integration der Komponenten für autonomes Fahren zu ermöglichen.

AP 2.2: Fertigung des Chassis

Lieferung Bremssystem: Das Bremssystem muss entsprechend den Anforderungen aus der Entwicklung und Konstruktion gefertigt und einbaubereit geliefert werden.
Das Bremssystem wurde von Knorr-Bremse gemäß den konstruktiven Vereinbarungen mit dem Konsortium gefertigt und termingerecht dem LBBZ bzw. der RWTH zum Einbau in das Chassis zur Verfügung gestellt.

AP 3.1: Montage des Chassis

Das Chassis des zu entwickelnden Fahrzeugs besteht aus vielen Einzelgewerken, die entscheidend für die richtige Funktion des FlexSbus-LR sind. Daher ist eine fachgerechte Montage der einzelnen Komponenten wichtig für den Erfolg des Gesamtprojektes. Aufgrund der Vielzahl der Komponenten ist eine hohe Komplexität bei den Arbeiten zu erwarten. Um eine erfolgreiche Montage des Chassis durchführen zu können, werden zunächst alle einzelnen Schritte des Prozesses detailliert geplant und anschließend nacheinander durchgeführt. Geplant ist eine Montage in Räumlichkeiten des LBBZ.

Ziel dieses Arbeitspaketes ist es, alle zuvor entwickelten und zugekauften Elemente des Chassis miteinander zur verbinden und das Chassis des FlexSbus-LR fertig zu stellen.

Einbau Bremssystem: Das Bremssystem wird an den dafür vorgesehenen Konsolen im Chassis verschraubt, dies kann je nach Konstruktion von Bremssystem und Chassis vor oder nach dem Einbau der Radsätze erfolgen. Neben den eigentlichen Bremsaktuatoren umfasst das Bremssystem darüber hinaus alle Komponenten, die zur Bereitstellung und Übertragung sowohl der Bremsenergie als auch des Bremssignals nötig sind, z.B. Druckluftbehälter, Kompressoren, Luftaufbereitung usw.

Knorr-Bremse hatte beim Einbau des Bremssystems Unterstützung angeboten, die Montage des Bremssystems ins Chassis erfolgte aber weitestgehend selbständig durch das LBBZ ohne Beteiligung von Knorr-Bremse.

AP 4.1: Transport zu den Gleisanlagen

Der voll montierte FlexSbus-LR wird in den Werkshallen von LBBZ montiert. Dort sind keine Gleise vorhanden auf denen das Fahrzeug fahren kann. Hierfür ist der FlexSbus-LR zu den vorgesehenen Gleisanlagen, auf denen die Inbetriebnahme und die Testfahrten stattfinden sollen, zu transportieren.

Knorr-Bremse hat 50% der Kosten des Transports des Schienenbusses per Sattelschlepper von Aachen nach Berlin zur Präsentation auf der InnoTrans2024 übernommen. An dem Transport des Fahrzeugs zu einem Testgleis ist Knorr-Bremse nicht beteiligt.

AP 4.2: Inbetriebnahme und Testen der Anforderungen

Nach der Montage sind alle Funktionen des FlexSbus-LR zum ersten Mal zu starten und zu testen. Diese Funktionstests werden anhand einer zuvor ausgearbeiteten Checkliste auf der Gleisanlage durchgeführt. Nach dem Nachweis der Funktionstüchtigkeit des Fahrzeugs sind die zu Projektbeginn definierten Anforderungen zu überprüfen. Es wird dokumentiert, welchen Erfüllungsgrad das Fahrzeug aufweist. Am Ende des Arbeitspaketes ist der FlexSbus-LR in Betrieb genommen und der Erfüllungsgrad der Anforderungen ermittelt.
Knorr-Bremse hat soweit es möglich war den Einbau des Bremssystems unterstützt. Die statische Inbetriebssetzung des Bremssystems hat in der Montagehalle vom LBBZ erfolgreich stattgefunden.

Die dynamische IBS wird in zweiten Schritten stattfinden.

1.Schritt: Versuchsfahren bei niedrigen Geschwindigkeiten ≤ 10km/h auf dem Gelände der RWTH Aachen, wobei aus diesen Tests für Knorr-Bremse keine besonderen Erkenntnisgewinne zu erwarten sind.

2.Schritt: Versuchsfahren bis zur Höchstgeschwindigkeit auf einem abgesperrten Gleis der Rurtalbahn bei denen dann auch aus Höchstgeschwindigkiet die Leistungsfähigkeit des Bremssystems einschließlich Funktionalitäten wie Gleitschutz, Mg-Bremse und Sandung getestet werden wird.

AP 4.4: Fahrzeugabnahme für Demonstrationsfahrten

Für die geplanten Demonstrationsfahrten ist vom Zuständigen der Gleisanlage der FlexSbus-LR abzunehmen, so dass dieser auf der Gleisanlage zu diesem Zweck fahren darf. Der zuständigen Person sind die nötigen Dokumente der Inbetriebnahme und der Sicherheitstest zu übergeben. Am Ende des Arbeitspakets wird das Fahrzeug für die Demonstrationsfahrten zugelassen.
Die vorgesehenen Demonstrationsfahrten haben bislang noch nicht stattgefunden. Knorr-Bremse wird jedoch jederzeit dort unterstützen, wo und wann immer es erforderlich ist.

AP 4.5: Demonstrationsfahrten

Als Abschluss des Projektes sind auf der Gleisanlage Demonstrationsfahrten des FlexSbus-LR durchzuführen. Hierbei wird ein Ablaufplan angefertigt, nachdem das Fahrzeug in den Demonstrationsfahrten die Gleisanlage befahren soll. Ein geeigneter Termin für die Demonstrationsfahrten wird geplant. Auch wenn die Demonstrationsfahrten bislang nicht erfolgt sind, steht Knorr-Bremse jederzeit bereit, um bei Bedarf aktiv zu unterstützen.

AP 5.1: Anforderungsmanagement, Einarbeitung der allgemeinen Anforderungen nach EBO und TSI

Komplexe Innovations- bzw. Entwicklungsprojekte lassen sich nur durch Arbeitsteilung realisieren. Aus der Erfahrung der Produktentwicklung zeigt sich, dass nur mit klar formulierten Anforderungen diese bis zum fertigen Produkt (FlexSbus-LR) umsetzbar sind und dazu ein Werkzeug notwendig ist, das für alle beteiligen Partner den Prozess klar abbildet.

AP 5.4: Terminplanung, Projektsteuerung

Um die im Arbeitsplan angegebenen Meilensteine zu erreichen, ist eine kontinuierliche Terminplanung und Projektsteuerung nötig, um gerade bei einem solch innovativem Konzept Schwierigkeiten im Fortschritt rechtzeitig zu erkennen und aussteuern zu können. Ziel ist dabei die termingerechte Fertigstellung der Teilaufgaben bzw. des gesamten Projekts.
Durch den wöchentlichen Austausch innerhalb des Konsortiums konnten Schwierigkeiten bei der Einhaltung des Projektfortschritts frühzeitig erkannt und konsequent behoben werden.

AP 5.7: Gewichtsmanagement

Mit dem Konstruktionsprinzip "Leichtbau" als ein wesentliches Projektziel stellt das Gewichts-management eine zentrale Aufgabe im gesamten Entwicklungs- und Konstruktionsprozess dar. Ziel des Gewichtsmanagements ist die Reduktion des Gewichts des gesamten Fahrzeugs und aller seiner Komponenten auf das Minimum, mit dem die gestellten Anforderungen noch gerade erfüllt werden können.
Das Arbeitspaket „Gewichtsmanagement“ wurde von Knorr-Bremse bereits in einem sehr frühen Stadium der Bremssystemprojektierung berücksichtigt. Dies betraf im Wesentlichen die anforderungsoptimierte Auswahl der Komponenten wie beispielsweise die sehr kompakte Luftversorgungsanlage sowie die Materialauswahl bei der Umkonstruktion bereits existierender Komponenten und bei der Auslegung von Neuentwicklungen.

AP 5.8: Gesamtdokumentation

Im Sinne der Sicherung des Erkenntnisgewinns müssen Fortschritte des Projekts dokumentiert werden. Unter diese Fortschritte fallen technische Daten der Einzelkomponenten, elektrische und mechanische Schnittstellen für Projektpartner sowie zukünftige Wartungs- und Instandhaltungsanweisungen. Ebenso müssen zukünftige Weiterentwicklungen möglich sein. Das Ziel ist ein vollständiger Abschlussbericht, der die Erkenntnisse, die aus dem Projekt gewonnen wurden, sowie die Methoden, die zu diesen geführt haben, beschreibt.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Kostenpositionen sind – wie bereits unter Punkt 1 dargestellt – die angefallenen Personalentwicklungskosten an den jeweiligen Standorten München, Mödling (Österreich) und Lyss (Schweiz).

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Neuentwicklung der Magnetschienenbremse (Mg-Bremse) sowie der kompakten Luftversorgungsanlage war unerlässlich, um die geforderte Bremsverzögerung sowie die Versorgung der pneumatischen Bremse, der Luftfederung und der Sandungsanlage in einer äußerst kompakten Bauweise sicherzustellen. Ebenso notwendig war die konstruktive Anpassung der Sandungsanlage und der Bremsscheibe an die spezifischen Gegebenheiten des Fahrzeugs.

Das zugrunde liegende Konzept, die im Umland von Ballungszentren lebende Bevölkerung durch elektrisch betriebene, bedarfsorientiert („on demand“) verfügbare Fahrzeuge an den öffentlichen Nahverkehr anzubinden – unter gleichzeitiger Reaktivierung bislang unrentabler, stillgelegter Strecken – hat großes Zukunftspotenzial. Es trägt nicht nur zur besseren Erschließung ländlicher Räume bei, sondern auch zur Entlastung der Innenstädte vom Individualverkehr.

Die von Knorr-Bremse für diesen Schienenbus gelieferte Ausrüstung ist hierfür bestens gerüstet – sie ist **„future-ready“**. Mit nur geringem Anpassungsaufwand kann sie auch in anderen, vergleichbaren rein elektrisch betriebenen – künftig auch autonom fahrenden – Fahrzeugen eingesetzt werden, nicht nur in Deutschland, sondern europaweit.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Aufgrund der sehr projekt- bzw. fahrzeugspezifischen Entwicklungen ist eine direkte Verwertung in zukünftigen Kundenprojekten nach aktuellem Kenntnisstand nicht vorgesehen.

Das für den FlexSbus-LR projektierte und erfolgreich in Betrieb genommene Bremssystem versetzt Knorr-Bremse in die Lage, bei Anfragen zu Fahrzeugen dieser Art kurzfristig zu reagieren und zeitnah liefern zu können. Nicht nur die Präsentation auf der InnoTrans 2024 war ein großer Erfolg – auch intern bei Knorr-Bremse wurde in verschiedenen Fachbereichen Interesse geweckt, die präsentierte Technik in zukünftigen Entwicklungen zu berücksichtigen. Besonders relevant ist dies, da in naher Zukunft auch von den Betriebserfahrungen profitiert werden kann.

Ideal wäre es, zeitnah eine Kooperation mit einem Fahrzeughersteller einzugehen, der für einen lokalen Betreiber eine (Klein-)Serie dieses Fahrzeugs realisiert. Selbst in diesem Fall müsste die Bremsausrüstung – bedingt durch den kontinuierlichen technischen Fortschritt – erneut auf ihre Eignung überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

In Europa wird derzeit an konzeptionell vergleichbaren Projekten gearbeitet. Über deren technischen Entwicklungsstand – insbesondere im Hinblick auf die eingesetzten Bremssysteme – ist jedoch nur sehr wenig bekannt.

Ob und inwieweit bei diesen Projekten bereits Fortschritte erzielt wurden, ist dem Autor nicht bekannt.

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11.

Von Seiten Knorr-Bremse wurden zwei Artikel im internen Magazin **„KB-Informer“** veröffentlicht – einem kostenlosen Kundenmagazin, das quartalsweise über vielfältige Aktivitäten innerhalb des Unternehmens berichtet.

Weitere Veröffentlichungen sind derzeit nicht vorgesehen.