

Introducing light rail vehicles on historical railway lines

W.C. Roodenburg

20-10-2021

Delft University of Technology

Thesis Committee:	Prof. Dr. Z. Li	Delft University of Technology, Section of Railway Engineering
	Dr. V.L. Markine	Delft University of Technology, Section of Railway Engineering
	Dr. ir. E. Schrik	Mott MacDonald
Student:	W.C. Roodenburg 4589882	

Summary

This report analyses the possibilities of the reactivation of the Hoorn-Medemblik museum railway line through the use of light rail vehicles. The line is currently only used for a historic tram service as a touristic attraction. The report serves as a base on which to further develop the reactivation of passenger services in a cost- and energy efficient manner. Aspects this report covers are an analysis of the area in which the railway is located and a provisional program of requirements and desires. A legal, infrastructural and traction related framework in which the basic principles and limitations of a revived passenger service are considered. The report specifies and recommends basic operational details on the basis of this.

The Hoorn-Medemblik museum tramway is located between the urban city of Hoorn and the more rural municipality of Medemblik. The line passes along but not necessarily through a number of cores, the largest of which are Hoorn, Wognum and Medemblik. All smaller cores are largely oriented to Hoorn or the train station there as can be seen through the existing (public) transport connections. This creates a potential demand in public transport for the line. A number of stakeholders are also involved, the province of North Holland has formulated a vision for a public transport connection connecting Hoorn, Wognum and Medemblik, which can be executed in the form of a reactivation of the line. The current owner of the railway line wishes to continue to utilize the railway for its museal purposes and it is assumed that the local population wishes to profit more than to experience the negative effects of a reactivated passenger service.

All this information led to a program of requirements, in which a primary aspect of note was that the visual effects damaging the museal experience caused by reactivation of passenger services should be limited to a minimum. Furthermore, the line would require a change in legal status due to current speed limitations, as to form a competitive connection with the existing bus connections. Another aspect was that the environmental effects and hindrance should be kept to a minimum. Finally, it is required that the passenger services can be conducted in a safe and responsible manner.

These requirements lead to a framework, a base for further development in operations. Conclusions on the legal aspects involved are that in theory, reactivation is possible in a legal sense, but much is dependent on political and safety related considerations. To be able to drive at higher speeds, the status of the railway line should be changed from Bijzonder spoor to Lokaal spoor. The effects of the status change are not defined, but largely depend on the agreements between the local government, the manager of the infrastructure and the transport operator.

The current infrastructure does pose some significant limitations for operation. Some curves are relatively sharp, requiring sections to be limited to 50 kilometres per hour. A lack of passage facilities on some parts of the track could also prove to be boundary conditions for the maximum possible frequency.

The museal character of the line should not be unnecessarily impeded upon. This means no catenary system or third rail is to be applied for traction. Diesel, hydrogen and battery-electric based traction methods are briefly discussed, of which the latter is recommended by this report. Battery-electric vehicles do need to charge however, which creates logistical considerations.

The base of operational requirements are related to the vehicles and charging logistics, safety and signalling systems and environmental effects. These largely serve as recommendations for future research. It has been discerned that the total vehicle fleet length, to be energy- and cost efficient, should be divided up into multiple smaller vehicles, which can be coupled during peak hours. This also provides option for the charging and furthermore the maintenance regime, as smaller back-up vehicles are likely to be cheaper than larger ones.

In terms of safety and signalling, cabin signalling has little visual impact, but brings along relatively high costs. Another possibility is a safety system based on those in use by trams, but with extra safety measures.

Environmental effects include the construction of a storage, maintenance and charging facility, options for dealing with the museum service and effects on the level crossings with the road network. These environmental effects in particular are to be the subject of further research.

Preface

This report has been conducted for the course CTB3000 of the bachelor civil engineering at the Delft University of technology and serves as the bachelor thesis. It serves to show the understanding and organization of reporting and research capabilities and drawing conclusions from this.

I would like to thank Dr. Eelco Schrik and Ruben Vergroessen MSc. for the daily supervision and valuable advice and Professor Zili Li and Dr. Valeri Markine for their supervision, feedback and assessment of this report. Multiple interviews have taken place to reach the conclusions of this report. To this extent, I would like to thank Ronald de Zutter, Dirk Jan Brakel, René van den Broeke and Boy Boukens for providing their information and expertise for the contents of this report.

Delft, October 2021

Table of contents

Summary	2
Preface.....	4
1. Introduction	7
2. Case analysis.....	9
2.1. Urban system analysis	9
2.2. Transport system analysis	10
2.2.1. Connections and network	10
2.2.2. Morning peak hour intensity	11
2.3. Stakeholder analysis	12
2.3.1. Municipalities	12
2.3.2. Province of North Holland	12
2.3.3. Local population	13
2.3.4. Museumstoomtram Hoorn-Medemblik.....	13
2.4. Rail system analysis.....	14
2.4.1. Alignment.....	14
2.4.2. Track components and maintenance	14
2.4.3. Switches and Crossings.....	15
2.4.4. Current operations.....	15
2.4.5. Current legal framework	16
3. Program of requirements	18
3.1. Operational requirements.....	18
3.2. Infrastructural requirements	18
3.3. Environmental requirements	18
4. Framework.....	19
4.1. Legal framework	19
4.1.1. Status transition	19
4.1.2. Exploitation	20
4.1.3. Reference project: S.T.A.R.	20
4.2. Track based framework	20
4.2.1. Curves	20
4.2.2. Passage possibilities.....	21
4.3. Traction.....	22
4.3.1. Diesel	23
4.3.2. Hydrogen.....	23
4.3.3. Battery-electric	23
5. Operations.....	24

5.1.	Vehicle dimensions, layout and logistics	24
5.1.1.	Vehicle width.....	24
5.1.2.	Vehicle length and layout options	25
5.1.3.	Charging and vehicle maintenance logistics	27
5.2.	Safety and signalling	28
5.2.1.	Safety system options.....	28
5.2.2.	Safety for crossing transport.....	29
5.2.3.	Emergency measures	30
5.3.	Environmental effects.....	30
5.3.1.	Crossings.....	30
5.3.2.	Museal character.....	30
5.3.3.	Museum service.....	30
5.3.4.	Structure.....	31
6.	Conclusion and Recommendations	32
	References	34
	Appendix A: Track layout.....	38
	Appendix B: CBS statistics on age groups in the municipality of Medemblik	39
	Appendix C: Reaction Municipality of Hoorn	40
	Appendix D: Interview Ronald de Zutter.....	42
	Appendix E: Interview Dirk Jan Brakel.....	47
	Appendix F: Interview René van den Broeke	50
	Appendix G: Results on passenger density	54

1. Introduction

Transport by rail has taken Europe by storm ever since their introduction in the 19th century. Developments in the past 150 years have led to the construction, deconstruction and reconstruction of various rail connections. In the Netherlands, a small number of lines in its more rural parts no longer have any standard passenger services and are now in use as museum lines, with purposes more focused on tourism and the preservation of history.

With a growing demand of mobility, increased urbanisation and technical innovations, these lines may see passenger services once more. One of these lines is the museum tramway Hoorn-Medemblik. This line offers no regular passenger services since 1936, when it was deemed no longer profitable to maintain operation. From 1968, the line has been in use as a touristic museum tramway, passing through but not stopping at various stations in a rural environment. The line has a historical appearance, manually operated switches and unguarded level-crossings. A full revival of the railway with heavy vehicles may require interventions that negatively impact its museal character. Could light rail vehicles provide a solution to this?

The main research question that this report aims to answer is ‘How can light rail vehicles be introduced on historical railway lines in order to revive passenger services?’ This thesis aims to answer this question through a case study on the Hoorn-Medemblik museum tramway. To be discussed is the following:

- What are the specifications of this particular case and is there a demand to revive passenger transport along this line?
- What stakeholders are involved and what are their interests in the revival of passenger services?
- What requirements and desires are to be taken into account?
- What is the legal, infrastructural and traction related boundary conditions that are to be utilized for this case?
- What are the preliminary conclusions on operational details in regards to vehicles, safety and signalling and environmental effects?

Through answering these questions, the report hopes to provide insights and lay a foundation to how light rail vehicles could reintroduce passenger services on a railway line shared with a historical train service. The focus is hereby put on reutilizing the existing infrastructure to the greatest extent, with to lesser extent focus on cost-efficiency

First, a number of analyses are conducted. An urban system and transport analysis provide insights on the potential demand for reactivation and the environment in which this case takes place. Aspects that are discussed are the current system of cores, population and the regional orientation of the area as well as the current road and public transport network. A stakeholder analysis takes place to understand the various positions of local authorities, as well as the current owner of the railway and the local population. The final analysis provides a closer look on the current state of , operations on and organization of the railway line.

These analyses bring with them a program of requirements, a shortlist of hard demands and softer desires. This program of requirements serves as a basis for the further framework of the implementation. This framework focuses on three main aspects: legal implications, track or alignment limitations and the proposed traction system. The legal implications will largely be formed through an analysis of the Wet lokaal spoor. The track limitations provide some details on limitations of the alignment in terms of the tightest curves and passage capabilities of the infrastructure. Finally, the preferred form of traction is recommended in this framework.

The final stage of this report contains some preliminary conclusions on the operations of the railway line. These operational details include the length-, width-, capacity- and logistics of vehicles, recommendations on the required safety and signalling system and some environmental effects to monitor. The structure of this research is depicted in figure 1.1.

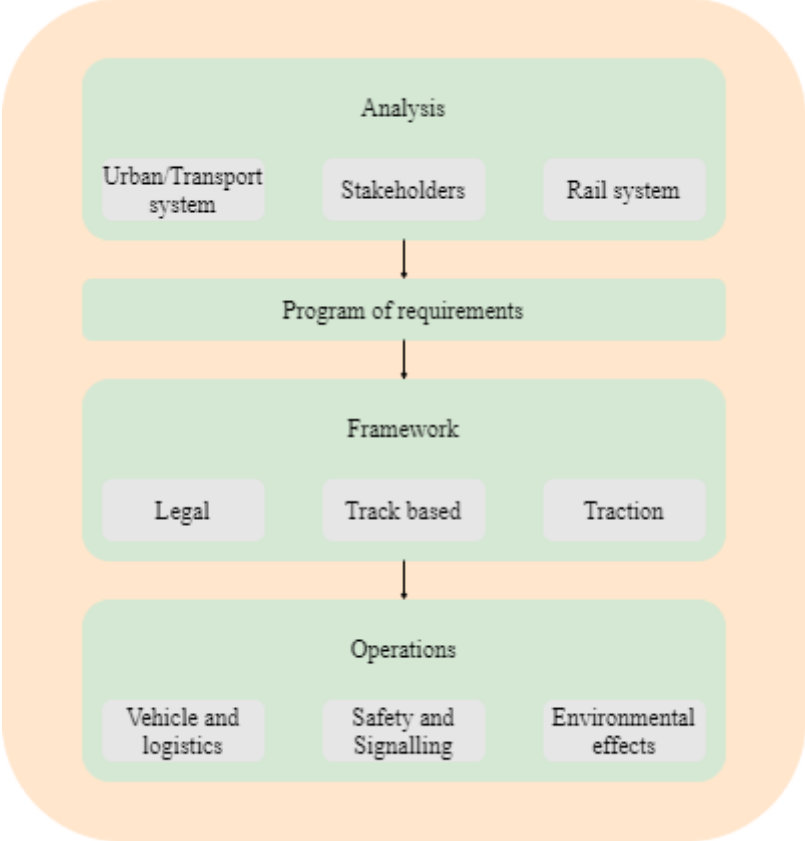


Figure 1.1: Overview of the report structure

Section 2 forms the analysis phase of the report, with the aforementioned analysis providing a program of requirements denoted in section. 3 This is followed in section 4 by discussing the necessary framework upon which to base the operations covered in section 5. Finally, conclusions and recommendations are discussed in section 6.

2. Case analysis

To understand the various aspects that have a place in the reactivation of museum railways, one could analyse a particular railway. The ‘case railway’ considered in this report is the museum line Hoorn-Medemblik. In this section, 4 separate analyses are conducted to come to a program of requirements for the vehicles and infrastructure. The urban system analysis will cover the various cores and populations around the railway line. The transport system analysis will focus on the current public transport situation and possible peak hour intensity. Stakeholders are to be discussed in section 2.3, followed by an analysis of the current railway system.

2.1. Urban system analysis

In this report, all townships whose administrative boundaries the railway line directly borders or crosses are considered to be of interest. Their locations in relation to the railway line are shown in figure 2.1. In table 2.1, the population for each administrative area (‘wijk’) associated with the respective township is provided according to data from the Centraal Bureau voor de Statistiek (2021-a). Inhabitants living outside of the township’s core (‘buitengebied’) are considered to be living in their respective core in this report in terms of distance to the railway. This is done because of their relatively small size and highly variable location in relation to the railway. It is noted that the municipality of Hoorn contains almost 75% of the considered population and is a relatively urbanised municipality. Linear residential areas (‘lintdorpen’) with a low population are present all over the area and cross the railway several times. This includes the Oosterstraat between Benningbroek and Midwoud, Wijzend and the Oosteinderweg between Wognum and Nibbixwoud and Westeinde between Twisk and Opperdoes. Most of the rural area is used for agriculture.

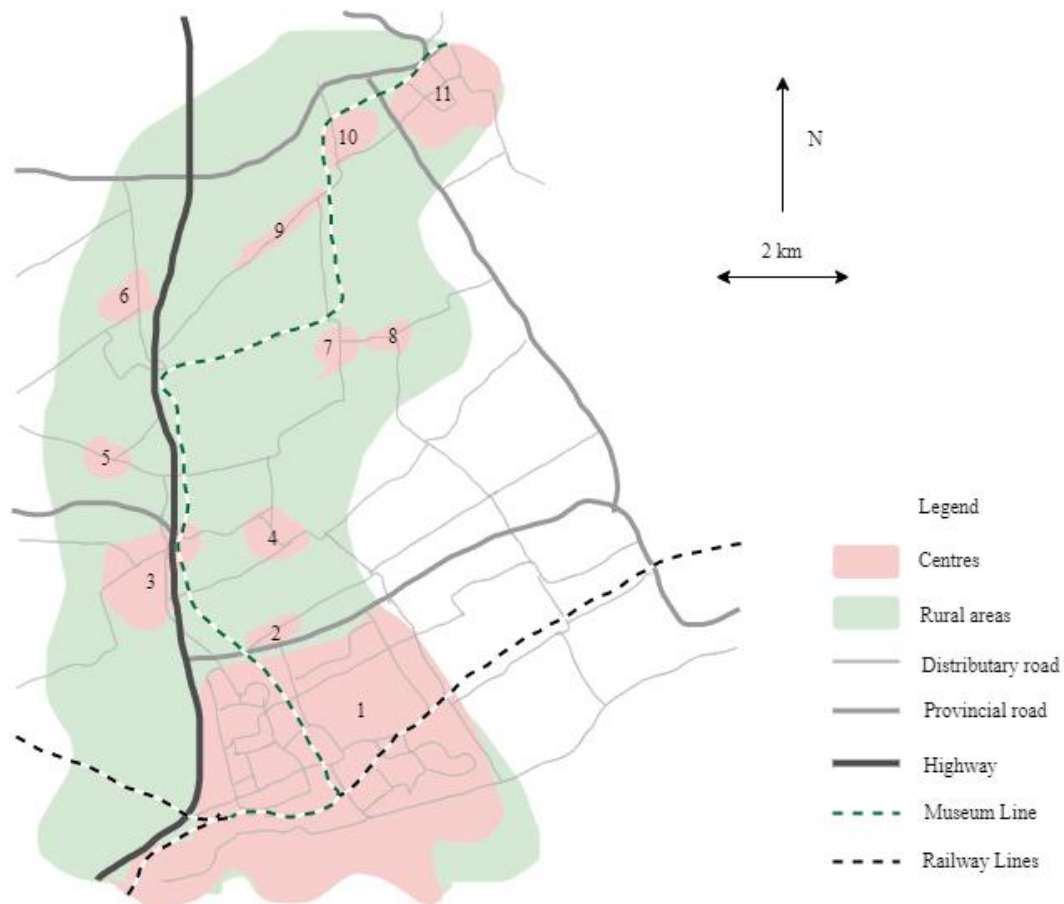


Figure 2.1: Topographic schematization of the surrounding area based on Openstreetmap data (OpenStreetMap, n.d.)

Table 2.1: Population for each core

Core number	Name	Inhabitants in administrative area
1	Municipality of Hoorn	73619
2	Zwaagdijk-West	585
3	Wognum	6375
4	Nibbixwoud	2475
5	Benningbroek and Sijbekarspel	1655
6	Abbekerk	2070
7	Midwoud	2415
8	Oostwoud	875
9	Twisk	1090
10	Opperdoes	1930
11	Medemblik	8505
Total:		101544
Total excluding Hoorn:		27925

Source : (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2021-a)

The rural-urban division follows for the most part the boundaries of the two municipalities. The municipality of Hoorn is one urbanised environment whilst the municipality of Medemblik is made up of countless smaller towns and villages. Most of these smaller towns lack facilities such as the presence of higher education or stores. It is clear that for these necessities, travel is necessary to other, larger cores such as Hoorn or the regional centres Medemblik and Wognum.

The amount of different cores and their distance to the railway line should be noted. Many crossing roads from these cores to the railway line are in relative close proximity to each other, but are interconnected away from the railway. To achieve the maximum possible catchment of users, the railway line should be as accessible as possible for all the different cores, which could result in a large amount different access points (stops) on a relatively short track.

2.2. Transport system analysis

To deduce demand for the connection, it is essential to understand how the different transport flows relate to one and other. In this subsection, the current road network and public transport system are discussed, the morning peak hour intensity is estimated and the minimum average speed of a new connection is determined.

2.2.1. Connections and network

Figure 2.1 depicted the various cores in relation to the railway line and their major road connections. It is noticed that the highway runs from north to south along the city of Hoorn and then continues further south to the national highway network. The provincial and local roads form a net spanning the entire surrounding area, but all appear to connect to the highway running from north to south. The dikes that are present throughout the area contain most local roads, with long, sparsely populated linear residential zones running alongside.

Both train stations in the considered area are located in Hoorn. Hoorn train station appears to be a central hub for transportation further onto the national rail network. From Hoorn, train connections exist to destinations such as Amsterdam, Leiden, Heerlen and Enkhuizen. Hoorn also maintains several local buslines running from north to south. Figure 2.2 depicts the frequencies and travel times from each core to Hoorn train station based on available data from the public transport provider (Connexion, 2021). These lines consists out of many different services. While most lines are regular

regional bus services, Benningbroek and Sijbekarspel are only served by a schoolbus to Wognum and Hoorn every morning and afternoon.

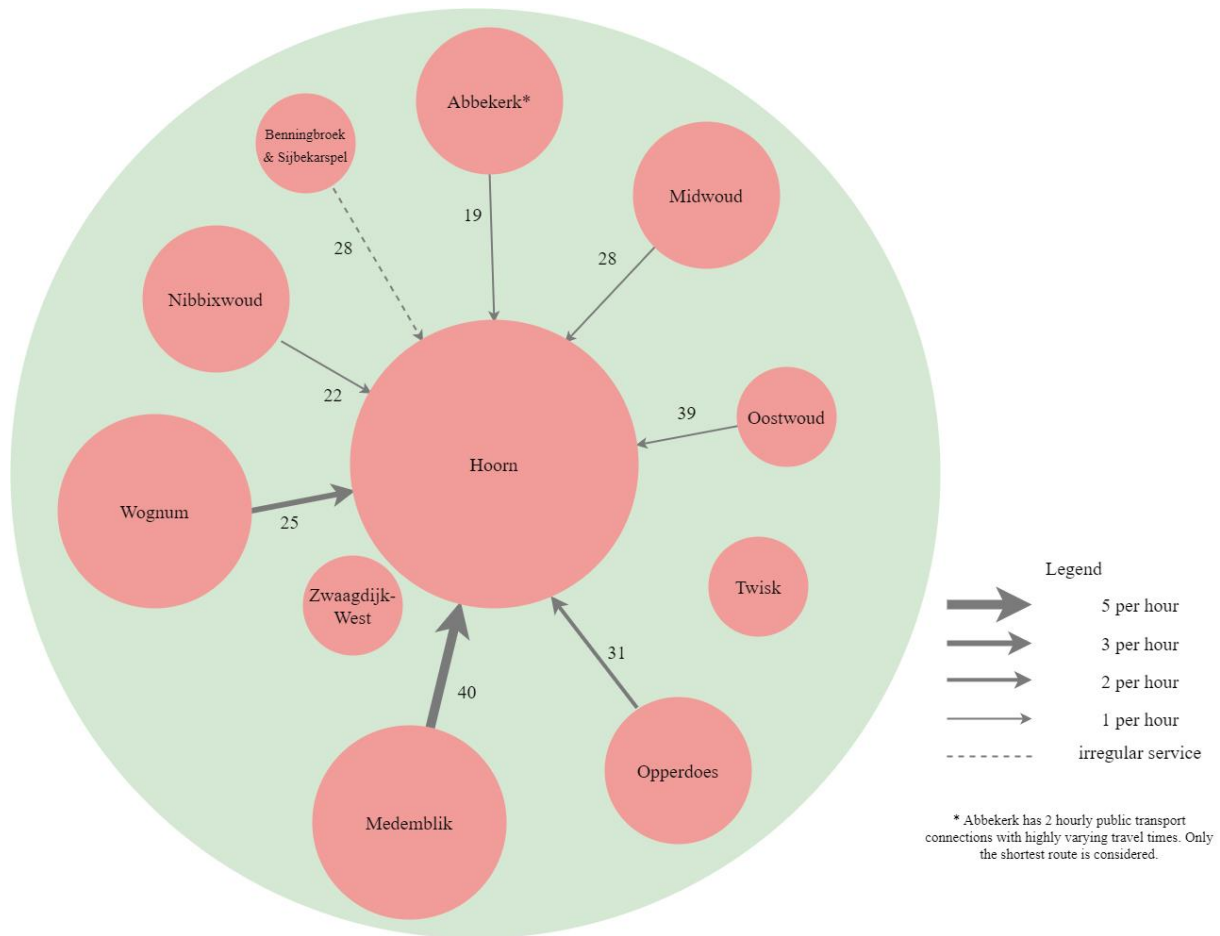


Figure 2.2: Time and rush hour frequency from public transport for each core to Hoorn based on data from Connexion (Connexion, 2021)

Thus through this information, it can be safely concluded that most of the current public transport connections are focused to connect the smaller cores in the municipality of Medemblik to Hoorn. This is supplemented through the remark made in Appendix C by the traffic engineer of the municipality of Hoorn on the access roads to the city due to its regional function.

2.2.2. Morning peak hour intensity

To determine the peak hour intensity to Hoorn in the morning and from Hoorn in the evening, estimates can be made with available statistics. The CBS has data available on the age build-up of the different towns (table B.1, Centraal Bureau voor de Statistiek, 2021-a) and the amount of public transport usage in relation to societal participation (table B.2, Centraal Bureau voor de Statistiek, 2021-b). These statistics can be found in Appendix B. The calculation of the projection is made through the following assumptions:

- The age group 0-14 and 15-24 are all made up of school-going people or students;
- The age group 25-44 and 44-64 are all made up of people working over 30 hours per week;
- The age group 65+ is made up exclusively of pensioned people.

This results in a total amount of 2255 projected public transport commuters every day when taking into consideration all the cores except for Hoorn. From the transport system analysis, it was deduced that it is likely that nearly all public transport users have Hoorn or station Hoorn as their destination.

Assuming that 40% of all daily transport users travel by public transport between 7:00 and 9:00, this provides a total peak hour demand of 450 passengers to Hoorn.

2.3. Stakeholder analysis

Boundary conditions can also be established through the intervention and involvement of stakeholders. These organisations, governments or involved parties have responsibilities or interest in the revival of passenger services along the Hoorn-Medemblik railway line. The stakeholders discussed are the municipalities, the province, the current concession holder for the regional public transport, local inhabitants and the current owners and operators of the line.

2.3.1. Municipalities

The two municipalities involved are those of Hoorn and Medemblik. These municipalities have the task of constructing and maintaining the municipal road network and providing accessibility within and in between their municipal boundaries. An increase of traffic over the railway line will result in level crossings being closed more often, which could impact the accessibility of the crossing roads.

In a reaction of the municipality of Hoorn, provided in appendix C of this report, it is stated that the municipality is a proponent of guarding all crossings within their municipality (Boukens, personal communications, 2021). The municipality plays an active role in doing this, as they adjusted the crossing whilst the Museumstoomtram Hoorn-Medemblik was responsible for the installation of the warning systems. The municipality states that only exception in this process is the Holenweg, as it forms an access road to just a few houses and the trains travel at a low speed at this location. The reaction further states that there are no real congestion problems caused by the current operations of the railway line and as long as it remains in use as “a museum steam tram travelling largely outside of rush hour” that there are no foreseen problems in relation to traffic flow on the crossing municipal roads (Boukens, personal communications, 2021).

Furthermore, the two municipalities subsidize the current museum tramline Hoorn-Medemblik for its impact on society (Gemeente Medemblik, 2020). Gemeente Medemblik further states that amongst the societal effects are the promotion of tourism in the area, the preservation of local history and the creation of shared historical awareness between different generations.

2.3.2. Province of North Holland

The Province of North Holland has two key aspects in which they are involved. First of all, this organization is in charge of building and maintaining the provincial road network in the province. The railway line crosses this network on two occasions, amongst which is the N307 crossing discussed in section 2.4.1. When the intensity of the railway increases, the level crossings are to be closed more often, possibly resulting in congestion or safety concerns related to braking.

The second aspect is the fact that the Province of North Holland is responsible for the public transport in the area. The concession for the public transport in the region is directly issued through this organization. A revival of passenger services along the historical tramway could provide opportunities for public transport, and impact the current concession.

The province has also formulated a regional public transport vision for the year 2040, in which they specify their preferred vision of public transport around Hoorn. It states that existing bus connections are to be upgraded to high-quality public transport connections (Gemeente Amsterdam et al., 2019). In their preferred network, the public transport connection Hoorn-Wognum-Medemblik is depicted as operating four times per hour per direction.

Connexxion is the current concession holder of the regional bus network. They are in charge of operating the bus services and this is specified in this concession. The concession runs until 2028.

2.3.3. Local population

The train line runs through both urban and rural environments, sometimes quite close to residential areas. A revitalization of passenger services would mean an increase in trains running through these areas. This may lead to an increase in nuisance or hindrance created by the line, which is undesirable for the local population. The most pressing of these two are assumed to be noise pollution and vibration. On the other hand, the local population may also benefit of a reactivation, especially in the areas currently not served by public transport. It should therefore be stressed that the negative effects should be compensated, mitigated or counteracted through positive effects. It is desirable that noise pollution and vibrations should be kept to a minimum.

2.3.4. Museumstoomtram Hoorn-Medemblik

The current operator and owner of the railway line is Museumstoomtram Hoorn-Medemblik. This organization consists out of 3 separate legal entities, one for the exploitation, one for the preservation of the collection and one for the preservation and maintenance of the infrastructure. These are the 'B.V. Exploitiemaatschappij Museumstoomtram', 'Stichting Beheer Museumstoomtram' and 'Stichting Beheer Spoor' respectively. (Museumstoomtram Hoorn-Medemblik, n.d- b). The primary goal is to "provide an historical travel experience to visitors" and preserve the history of steam trams in the Netherlands through the preservation, collection, maintenance and presentation of a collection and knowledge (Museumstoomtram Hoorn-Medemblik, n.d.-a).

In an interview with the current director of the Museumstoomtram Hoorn-Medemblik, René van den Broeke, the railway line plays three roles of interest (Van den Broeke, personal communications, 2021). A cultural role in the form of a functional collection of rolling stock, a touristic role in attracting 100,000 visitors to the area and a societal role in that they provide room for 300 volunteers spending time on the museum.

The organization owns most of the railway line and attempts to maintain it as historically as possible. Thus when discussing reactivation, this goal should be pursued and any interventions should not damage the historical experience that the current situation offers. In the view of the director of the Museumstoomtram Hoorn-Medemblik, any attempt to modernisation would go on the expense of the monumental character of the railway and thus be undesirable for the goals of the organization (Van den Broeke, personal communications, 2021). More information on the operations of the railway line is discussed in section 2.4.

2.4. Rail system analysis

The current infrastructure and service situation acts as a base from which to develop and test the introduction of the light vehicles. Factors that could provide us with boundary conditions are the alignment, the condition and components of the track and the current organisation of switches and crossings. Other case particular components that are examined are the historical elements, current operations and legal status of the railway line. Some of the information was provided by the director of the Museumstoomtram Hoorn-Medemblik in an interview found in appendix F.

2.4.1. Alignment

The track is mostly situated on flat terrain resting on abutments. In horizontal sense the track possesses a number of curves. Three sharp horizontal curves form the primary and critical features in the alignment. The sharpest curves have a curve radius of around 200 metres, one of which occurs in the city of Hoorn, the others in the rural areas in the municipality of Medemblik. It is unlikely that these curves have any pre-set cant, which may result in discomfort while travelling through the curve at higher speeds.

Appendix A contains a detailed schematization of the railway infrastructure. A notable feature is the lack of a turning facility. Currently the trams travel frontwards one way and backwards the other way. The railway is single track for the most part of its 20 kilometer length, but does contain a number of short stretches of double track and sidetracks. Through satellite imagery, the length of the double track section at ‘Dorpsstraat’ can be determined to be 160 metres (Google, 2021), and that at ‘Wognum’ is 340 metres. The lengths of the sidetracks are also different for each situation. An extensive railyard owned by the Museumstoomtram Hoorn-Medemblik exists around Hoorn station and contains over 10 different storage tracks in various lengths. The other end of the tracks, near the Medemblik platforms, contains two run-off tracks with a length of 80 metres.

2.4.2. Track components and maintenance

The railway line utilizes normal gauge, 1435 mm. Most of the track utilizes wooden sleepers on a ballast bed, but some embedded track is present on the crossings. The rails are being clamped to the baseplate through bolts and rail clamps. The base plate is in turn bolted to the sleepers. No pads are present beneath the rails. A cross section of the track is found in figure 2.3, with more detailed information on the fastening in figure 2.4.

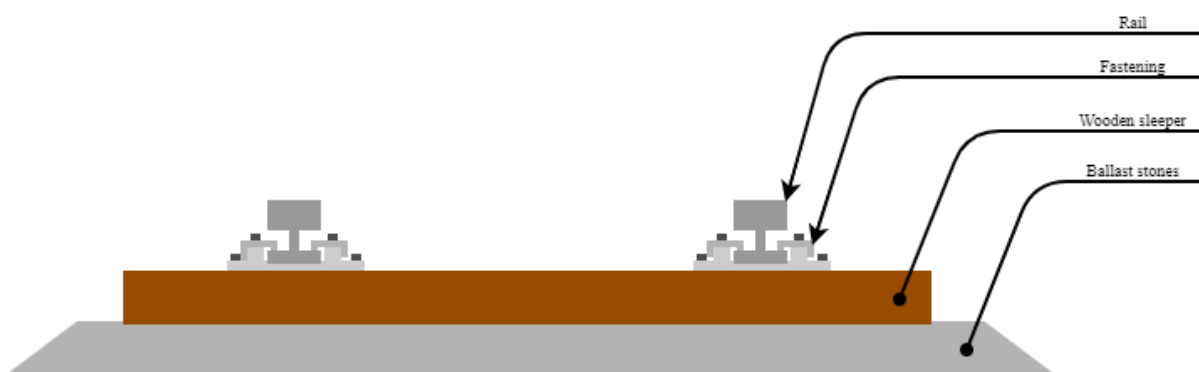


Figure 2.3: Different components of the Hoorn-Medemblik tracks.

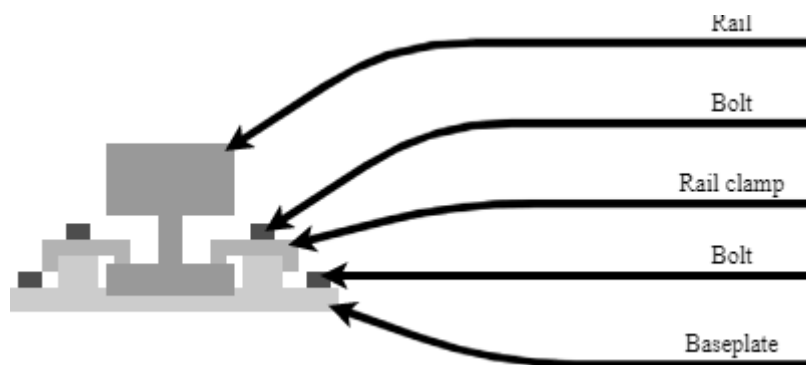


Figure 2.4: Details of fastening system Hoorn-Medemblik tracks.

Maintenance is largely conducted by the current owner of the track. The ‘Stichting Beheer Spoorlijn’ is responsible for the maintenance and they outsource this to the ‘B.V. Exploitatiemaatschappij Museumspoorlijn’. (Van den Broeke, personal communications, 2021). Larger projects, such as specialistic work and track renewal, are outsourced to third parties. Every year, 500 metres of track are renewed, so the entire line is renewed in a cycle of 40 years’ time.

Checking on the state of maintenance is the responsibility of the Museumstoomtram Hoorn-Medemblik themselves. Every month, optical inspections take place on the state of the track. A special committee within the organization is responsible for safe utilization of the railway line and this committee have set up the maintenance cycle. The Inspection for the Environment and Transport (ILT) can research whether this responsibility is executed properly.

Two final remarks that Van den Broeke makes in regards to the state of the tracks is that the line is situated in a marshy landscape and that the current vehicles and services do not impact the infrastructure in a critical sense.

2.4.3. Switches and Crossings

As can be seen in the plan in Appendix A, the track possesses a plurality of switches and crossings. Most of these switches are manually operated and are not connected through a central system. The foremost exceptions of this are found on the trainyard at Hoorn station, which is operated by hand in a central location (Museumstoomtram Hoorn-Medemblik, n.d.-c) and Wognum station (Van den Broeke, personal communications, 2021).

In terms of crossings, the railway knows both guarded and unguarded level-crossings. In 2020 however, a number of these unguarded crossings was adjusted and now the majority of the crossings are guarded, notably in the more urban areas of Hoorn (Museumstoomtram Hoorn-Medemblik, 2020). There is a high variety present of different forms of crossing safety mechanisms. There are a notable number of unguarded crossings with access roads to industrial and agricultural private terrain.

A point of note is the level crossing at the provincial road N307. The N307 functions as a regional traffic artery and connects the region with the A7 highway to the west and the province of Flevoland to the east. The railway crosses the six lane road with help of a traffic installation instructing the road traffic to stop whenever a tram approaches and through the use of beams.

2.4.4. Current operations

To understand the current operations of the railway line, much information has been gathered through the interview with the director of the Museumstoomtram Hoorn-Medemblik, René ten Broeke. Currently, the line is operated twice a day on a regular service, one tram from Hoorn to Medemblik and one from Medemblik to Hoorn later in the day (Museumstoomtram Hoorn-Medemblik, 2021). In the summer seasons, this amount can increase in the form of elaborate, special schedules of up to 4 retour journeys between the two stations a day (Van den Broeke, personal communications, 2021).

The average speed of the tram is the same as the maximum allowable speed of 30 kilometres per hour. The tram stops on the former stations of Wognum, Twisk and Opperdoes. The total time taken up by a single journey on the line is one hour. On Wognum station, the train stands still for a longer period of time. Van den Broeke states that the average length of a tram on regular service days is between 130 and 150 metres and the width of the cars is around 3 metres wide.

When asked about the current storage capacity of the line Van den Broeke stated that there is currently not enough space for the storage of the rolling stock. It is of importance that the collection is harboured inside to protect it against external effects. The run-off tracks at Medemblik are currently not used for storage, but are sometimes utilized to allow (the locomotives of) the trams to turn.

During operations, safety is regulated through a 'treindienstleider' based at Hoorn station, who is in contact with the train drivers through a telephone connection. This treindienstleider has a graph with six block sections, and he reserves these block sections for a tram. Each block section contains a maximum of one tram. The stations provide opportunities for two trains to pass one and other. Once a tram has reached a station, the block section that it has left can be utilized by another tram, on the instructions of the treindienstleider. Stations Hoorn and Wognum also contain classic signalling systems, but these are inferior to the graph and instructions provided by the treindienstleider.

2.4.5. Current legal framework

To understand the current operations, it is useful to consider the current legal framework in which the railway line operates. In this subsection, the various legal aspects that are determined by national law will be discussed in regards to operational and safety requirements.

The Dutch government classifies railways in the Netherlands in three distinct categories according to the Spoorwegwet:

- Hoofdspoorweg: Railways that are designated to be conducting public passenger transport or freight transport in regards to international, national or regional connections;
- Lokaalspoorweg: Railways that are designated to be conducting public passenger transport in regards to city, suburban or regional connections;
- Bijzondere spoorweg: Railways that are not designated as a Hoofdspoorweg or Lokaalspoorweg.

Currently the railway Hoorn-Medemblik is classified as a bijzondere spoorweg (René van den Broeke, personal communications, 2021). This type of railway is further defined in the Besluit bijzondere spoorwegen. This decree contains various operational details of this railway class. An important definition are the functions of 'spoorwegbeheerder' (railway manager) and 'vervoerder' (transporter).

The former is responsible for making the railway operationally available and safe to use. The spoorwegbeheerder also documents the possible risks related to maintenance, access to the railway and the traffic management. This party is also expected to take measures and provisions to counteract these risks. In the current situation, the 'Stichting Beheer Spoor' takes on the role of spoorwegbeheerder. The vervoerder is the party that utilizes the railway through vehicles. The vervoerder is also responsible for the proper functioning of responsible personnel. This role is fulfilled in the current situation by the 'B.V. Exploitatiemaatschappij Museumstoomtram'.

This report will focus briefly on three elements of this law: speed, signalling, and interaction with other traffic.

In terms of speed the Besluit bijzondere spoorwegen is defined in article 8. The maximum railway vehicle speed is 30 km/h. Exemption can be requested for higher speeds, as long as the safety of the rail traffic is not negatively impacted and the line does not cross a public road. If the railway crosses a public road, the responsible minister for Infrastructure can decrease the maximum speed limit on (a section of) the railway.

Signalling is defined in article 6. The spoorwegbeheerder is responsible for the implementation of signalling if he deems this necessary. There are two scenario's in which signalling is dictated through law. This is in case of movable bridges and on sections of the railway line where the maximum speed exceeds 30 km/h. The train driver is required to take the necessary signalling into account.

The Hoorn-Medemblik railway line crosses road traffic multiple times. Article 12 of the Besluit bijzondere spoorwegen describes that all railway crossings with publicly accessible roads should be equipped with proper signs. At non-publicly accessible roads, such as the industrial and agricultural yards the Hoorn-Medemblik railway crosses, article 15 applies. The article states that all road users should yield to the rail vehicles and that it is forbidden to enter the crossing when a stop sign is used by the train driver or other responsible personnel in the form of a red flag or light. This stop sign is defined in article 82 of the RVV 1990. When the railway line crosses public roads, guarded crossings can be implemented. This is the case at most of the crossings in Hoorn and the six lane crossing at the Westfrisiaweg.

To conclude, the different classes of railway have different requirements and boundary conditions. The current railway has a designation as a 'bijzondere spoorweg' and thus needs to comply with strict regulations regarding a maximum speed and interaction with different users. When it is required that these aspects are to be adjusted, this has consequences for the legal class of the railway. These consequences are elaborated upon in section 4.1.

3. Program of requirements

This section provides a number of requirements and desires based on the analyses conducted in section 2. These requirements are divided up into operational requirements, environmental requirements and infrastructural requirements. The operational requirements specify the desired speed, frequency and museum operations. The infrastructural requirements reflect the desires and requirements on the appearance of the railway line as obtained through the analysis section. The environmental requirements result from the stakeholder analysis and rail system analysis.

3.1. Operational requirements

- The two major cores in the area are Wognum and Medemblik have a significantly larger population size than the other cores in the area and will serve as a reference to the required minimum average speed. The current average travel time from Medemblik and Wognum is 40 and 25 minutes respectively. To achieve a directly competitive travel time with the bus connections, a vehicle travelling along the line would have to travel 20 kilometres in 40 minutes, resulting in an average speed of 30 km/h.
 - o However, a note should be made that this average speed could not be sufficient enough. One of the prime advantages of the current bus connections is that they stop near the centres of the local cores. Some cores are located further away from the railway line than they would be to the nearest bus stop. This results in a longer time for passengers to arrive at a stop, which will increase their total journey. In order to compensate for this lost 'first mile' time, a higher average speed would be desirable.
- From the stakeholder analysis it can be concluded that a high frequency of up to four connection per hour per direction is desired by the province. A high frequency could also provide negative side effects however, so an exact frequency should be subject to further scrutiny.
- The museum operations should not be hindered, or at least the hindrance should be kept to a minimum. This report primarily focuses on the regular services of the railway line, so one to two return services per day, outside peak hours.
- The passenger services should be able to transport a morning peak hour intensity of 450 passengers to Hoorn.

3.2. Infrastructural requirements

The following infrastructural requirements apply:

- The track components reflect the historical character of the railway.
- Modernisations should be kept to a minimum, as not to damage the museal character of the railway;
- Safety and signalling, if necessary, should be implemented in a way in which it limits damages to the museal character.
- The infrastructure and signalling systems must be adjusted in such a way that the line can safely be operated by passenger services.

3.3. Environmental requirements

The following environmental requirements are of concern:

- Noise pollutions and vibrations should be kept to a minimum.
- There must be space allocated for maintaining and storing the passenger service vehicles.
- The frequency of the rail service should not cause congestion related problems for the crossing road network.

4. Framework

The program of requirements provide a basis for the boundary conditions that a reactivation of passengers services on a museum line brings. This base can be developed further into a framework, on which in turn, operational details and effects can be mapped out. In this report, the framework is split into three distinct parts. First is the legal framework, that lays out options for the change in status of the line. Next are is the track based framework. The focus of the report is based on the reutilization of existing infrastructure and alignment. The current alignment and infrastructure bring with them certain limitations related to speed, frequency and passing possibilities. Finally, several forms of traction sources are compared, providing the final piece upon which to base the operations.

4.1. Legal framework

The current legal status of the line generally restricts speeds to 30 km/h. A minimal average speed of 30 km/h would result in a higher required maximum speed limit. Thus the legal status of the railway should be changed.

4.1.1. Status transition

As stated in section 2.4.5. , the Spoorwegwet defines three distinct classes of railway. Hoofdspoor, Lokaal spoor and Bijzonder spoor. Hoofdspoor is primarily used for the (inter)national and regional rail network, whilst lokaal spoor is reserved for regional, city and suburban transport. A royal decree determines what railway is designated as Lokaal spoor (Regional line) otherwise it is designated as Hoofdspoor (Mainline). As this report is concerned with utilizing light rail vehicles to assist in regional transport, an argument can be made for the designation for Lokaal Spoor. To understand what this designation means, the Wet lokaal spoor is to be examined.

The Wet lokaal spoor states that the province executive board ('gedeputeerde staten') is responsible for the construction and management of regional railway lines. Article 5 states that the local railway infrastructure should be constructed in a way that it is in good conditions, reliable and available. It furthermore should not create hazardous situation or damage people or goods and the maximum allowable speed is able to be driven in a safe and effective manner.

Similar to a "Bijzondere spoorlijn" (special railway) , a regional railway knows the role of a 'beheerder' and a 'vervoerder'. The province executive board appoints one or more beheerders for the regional railway infrastructure. This beheerder is responsible for setting up a safety management system, defined in article 19 of the Wet lokaal spoor. This safety management system contains, amongst others, clauses with relation to safety during regular operations, correctional operations in case of incidents, risks in operations and how to counteract these. Article 19 and 20 state that the beheerder is responsible for its own management and internal control mechanisms, but that the province executive board can provide it binding orders in regards to the management of the railway line.

On traffic regulations, the Wet lokaal spoor state that the province executive board puts either the beheerder or the vervoerder in charge of leading the traffic over the railway. Article 25 states that regulations in regards to signalling, safety measures , crossings and others can be stated by the province executive board as to ensure safe traffic on the railway. A vervoerder further needs to comply with a similar safety management system as the beheerder. The beheerder and vervoerder come to an arrangement with specifications on the required quality of the infrastructure provided by the beheerder and the times and days when transport is allowed to take place.

It can be concluded that much of the operational details comes from the interplay between the province executive board, the beheerder and the vervoerder. This results in regulations, safety and operations varying for each lokaalspoorweg. The law dictates very little in itself, only that the province executive board can give directives in regards to safety measures, with whom the appointed beheerder and vervoerder have to comply.

4.1.2. Exploitation

If the railway is classified as a regional railway line with light rail vehicles, it falls under the Wet personenvervoer 2000. The public transport system in the Netherlands is regulated through concessions, described in this law. A concession is defined as the right to conduct public transport in a certain area during a certain timespan, excluding others. Article 20 states that the province executive boards are responsible for granting public transport concessions for all forms of public transport except trains. Article 25 states that a concessions contains at least a description of the public transport, the area and the timespan that the concession is granted for. The area of Hoorn and Medemblik is currently part of the concession “Noord-Holland Noord”. A lightrail connection between Hoorn and Medemblik is likely to become part of this concession as well, but that is up to the province of North Holland.

Thus, for the exploitation of passenger services, a concession should be granted from the Province of North Holland to a public transport company wishing to operate the connection.

4.1.3. Reference project: S.T.A.R.

In the recent past, another museum railway has been the subject of investigation upon potential reactivation. The Stichting Stadskanaal Rail (also known als museumspoorlijn S.T.A.R.) owns the track between Veendam and Musselkanaal and utilizes this for museum services (Wiersema, 2019).

Due to the constrains regarding the status of Bijzondere spoorweg, the maximum speed was limited to be 30 kilometres per hour. The province of Groningen deemed this to be insufficient for passenger services (Puylaert, 2019) and thus wanted the status of the railway to change to Hoofdspoor, with the tracks being owned and maintained by ProRail.

The Stichting Stadskanaal Rail was worried that this would result in extra costs for providing appropriate training to their personnel and applying adjustments to the trains that the organisation would not be able to pay for (Treinreiziger, 2017). In the end it was decided that the S.T.A.R. only operates on Sundays, and will shorten the travel time from 40 minutes to 24 minutes (Puylaert, 2019). The current concession holder Arriva, will execute an hourly service on the trajectory whenever the museum services operate. The two types of trains will not use the same track simultaneously, but will share it during the day. When the STAR is utilizing the track, the safety regime will change. Signalling is applied for safety reasons (Reuvers, 2019).

Although this reference project provides insights in the legislative questions in regards to reactivation, it is important to note that the intensity of the museum train service of the S.T.A.R. during a week is a lot lower than the one executed by Hoorn-Medemblik. Besides this, the utilization of signals may damage the monumental character of the museum railway. Nevertheless, in a legal sense, this shows that shared use of infrastructure can be a possibility.

4.2. Track based framework

To reduce unnecessary costs and in line with the concept, the focus of the revitalization of the railway should lie on reutilizing the existing infrastructure. The report investigates the possibilities and boundaries in terms of the current railway alignment. This subsection discusses boundaries related to horizontal alignment and the passing possibilities for vehicles.

4.2.1. Curves

From the analysis it was concluded that there are three notable curves present in the horizontal alignment. These curves all have a radius of around 200 metres, with no cant present, implying that there could be limits to the possible vehicle speed on these sections. The reader ‘Functional and Structural Design of Roads and Railways. Part B: Functional design of railways’ provides the following formula for the relation between cant, running speed, curve radius and transversal acceleration (Hansen et al., personal communications, 2003).:

$$h = 11.8 * \frac{v^2}{R} - 153 * a_q$$

With h being the cant in millimetres, v the running speed in kilometres per hour, R the curve radius in metres and a_q the non-compensated transversal acceleration. To ensure the comfort of passengers and limit the use of maintenance, the transversal acceleration of a vehicle in a curve is limited to 1 m/s^2 . With $h = 0$ for no cant, $R = 200$ and $a_q = 1$, this results in a maximum running speed of 50 km/h on these curved sections. Figure 4.1 depicts these curves in relation to the total alignment of the railway.

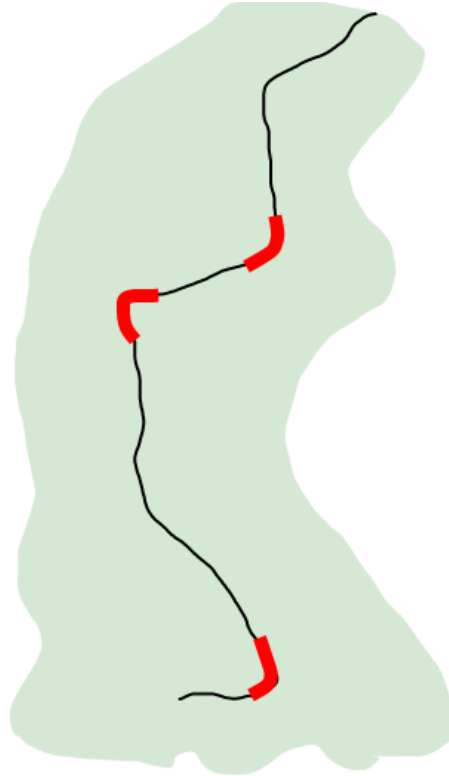


Figure 4.1: Curves with $R < 200 \text{ m}$ in the alignment.

4.2.2. Passage possibilities

As depicted in Appendix A, the railway is single track for the most part, although limited sections of double track also exist. Side tracks also exist at other sections of the railway as shown in Appendix A. The locations of these sections in geographical relation to the railway are shown in figure 4.2.

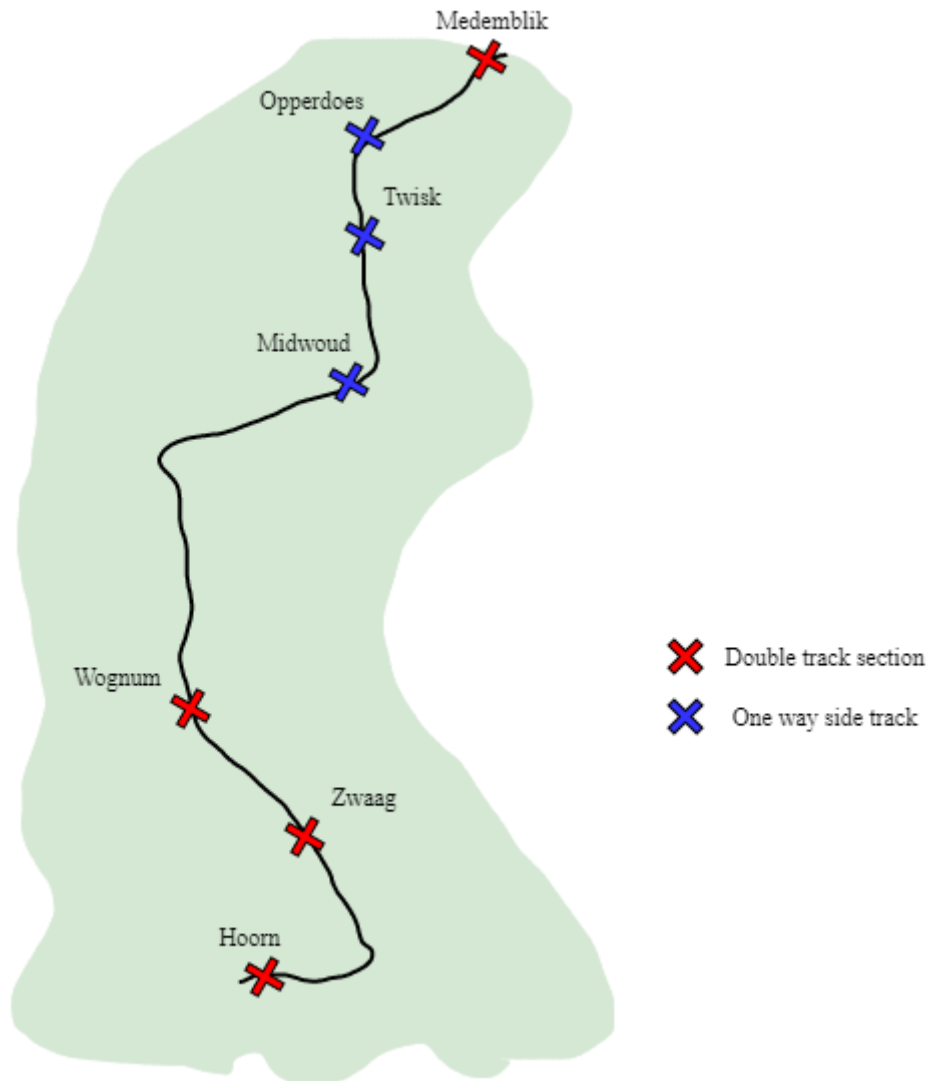


Figure 4.2: Double tracks sections and side tracks in relation to the railway.

This divides up the track in 6 distinct sections. The direction in which the switches are organized in relation to the one way side track is denoted in appendix A. It should be noted that when utilizing the one way side tracks, the vehicle will have to change driving directions twice, providing logistical limitations as this takes up time and energy.

Utilization of these tracks is therefore to be avoided and trains passing each other in different directions should preferably take place at the double track sections Wognum and Zwaag when possible. These two double track sections are located on 40% and 20% of the railway line viewed from Hoorn station respectively. The two sections are located heavily on one half of the track, while none exist on the other half, posing capacity options at a higher frequency. Alternatively to counteract this, on or more of the one way side tracks can be expanded double track sections. This however brings along extra costs and may not be in line with a cost-efficient reactivation.

4.3. Traction

The boundary conditions state that the historical appearance of the railway is important for the historical character of the steam tram service. This means that when introducing modern vehicles, a catenary system is not an option due to its dissonant appearance. A third rail would pose safety and spatial integration issues, due to the high amount of level crossings and easily accessible infrastructure. Practically this means that the power necessary for the propulsion of the vehicle should be stored or created in the vehicle itself. Three distinct modern propulsion methods are considered and

compared: diesel, battery-electric and hydrogen. To understand more on the differences between the forms of traction, an interview was conducted with Ir. Dirk Jan Brakel, who was responsible for replacing diesel-driven buses in Amsterdam with battery-electric buses. This interview is supplemented in appendix E.

4.3.1. Diesel

Compared to the other two sources, diesel traction is tested technology. Dirk Jan Brakel states that diesel engines are quite developed and optimized compared to the other two sources (Brakel, personal communications, 2021). He further states that the three disadvantages of diesel that it creates emissions, is usually heavier and that it creates more noise than battery-electric. According to the book *Hybrid, Electric and Fuel-Cell Vehicles* (2nd edition) by Jack Erjavec, diesel engines “have the highest thermal efficiency of any internal combustion engine” (Erjavec, 2013). The passage on diesel engines continues by stating that “disadvantages include particulate matter and nitrogen oxides in the exhaust, noise and vibration. However with today’s technology, many automotive diesels run quietly and cleanly. Diesel engines also have the ability to run on biodiesel fuel, which means a diesel hybrid would no need to use fossil fuels.” This last sentence does not mean that a diesel engine is emission free. Emissions still occur in this situation, only the need for fossil fuels is eliminated.

4.3.2. Hydrogen

On fuel cell driven vehicles, the book states that hydrogen is a true-zero emission vehicle (Erjavec, 2013). But also states that at the time of its writing, hydrogen still has a number of problems. First of which is the storage. Hydrogen is a gas, meaning that it requires more volume to be stored than liquid fuel. Besides this, the storage also quite heavy. To reduce the volume a hydrogen storage takes up, hydrogen is stored in a liquid state, but this installation takes up space and provides once again extra weight. Besides this, infrastructure to provide hydrogen to the railway line is to be built. Hydrogen trains are to be implemented on some railway lines in the Netherlands from 2025 onwards (Metselaar, 2020).

4.3.3. Battery-electric

Battery-electric vehicles do not require fuel cells or a tank, but rely on batteries. They can be charged through the regional power grid, or through locally created electricity. The only pollution they create is the emissions caused by the creation of electricity (Erjavec, 2013). The logistical situation that arises when comparing battery-electric vehicles to diesel and hydrogen is that the charging process takes up time. Furthermore, depending on the necessary range and size, batteries can be heavy. Compared to vehicles with combustion engines, battery-electric vehicles are more quiet (Erjavec, 2013). Dirk Jan Brakel supports the more quiet aspect of battery-electric vehicles, and adds that the price of electricity is roughly one third of that of diesel per kWh (Brakel, personal communications, 2021). He also states a final advantage of battery-electric vehicles in that the vehicle is able to win back braking energy through regenerative braking.

This report considers hydrogen as a viable traction option, but recognises that it is still to be developed further as a fuel source and may pose logistical problems in the supply of hydrogen. The report therefore gives preference to battery-electric traction for the vehicles. This is primarily based on the program of requirements that state that noise pollution should be reduced to a minimum.

In line with the vision of the report of creating a cost efficient reactivation, the potential of regenerative braking proves to be interesting in regards to saving energy-related costs. The line serves a large number of cores, with short distances in between, resulting in a lot of acceleration and braking processes. The energy that would otherwise be lost to the latter can be partially retrieved through the use of regenerative braking in combination with battery-electric vehicles.

5. Operations

Once the railway can be put in use, it can be operated with vehicles. Vehicles form an integrated aspect in what frequency, form and size passenger services can be operated. From the framework, it is further considered that the province executive board should provide a permit for safe use of the railway line. This safety is largely dependent on signalling. Finally, operations of the line cause environmental effects. All these aspects are discussed in this section and recommendations or initial points of note on these aspects are mentioned.

5.1. Vehicle dimensions, layout and logistics

This subsection aims to describe basic aspects of a vehicle suitable for this particular case. Vehicles require a certain amount of space to provide enough capacity for the occurring demand. There are however limitations in how much space a vehicle can take up, mainly dictated through a clearance profile and objects along the track. The availability of space on storage tracks or railway yards also imposes limitations. Other aspects to consider are the logistics of the battery charging process and maintenance to the vehicle. All different aspects are thoroughly affected by one another, the following structure is followed:

First, a basic clearance profile is determined based on the existing infrastructure and objects along the railway line. This provides a width, which is necessary for determining the total vehicle length that provides enough capacity for the morning peak hour intensity. The different options for vehicle length and layout are then compared in terms of their charging regime and what the consequences are when maintenance has to occur on a vehicle. Finally, subsection 5.1.4. compares the different aspects and provides a recommendation what to achieve.

5.1.1. Vehicle width

The maximum possible vehicle height and width are closely related to the clearance profile of the railway. A clearance profile states the sum of required free space for a rail vehicle in motion. It is based on the dimensions of a stationary vehicle, a vehicle in motion, the geometry of the rails, the characteristics of wheel-rail interaction and wear on both tracks and wheels (Scheepmaker, 2004). The clearance profile currently applied to the railway line is similar to that of the Nederlandse Spoorwegen, PVR-NL. Figure 5.1 depicts this clearance profile (Railcenter, n.d.).

The widest passenger cars in use by the historical railway are the estimated to be 3 metres wide (Van den Broeke, personal communications, 2021) . This vehicle width will be utilized as a base for further dimensioning of the vehicle.

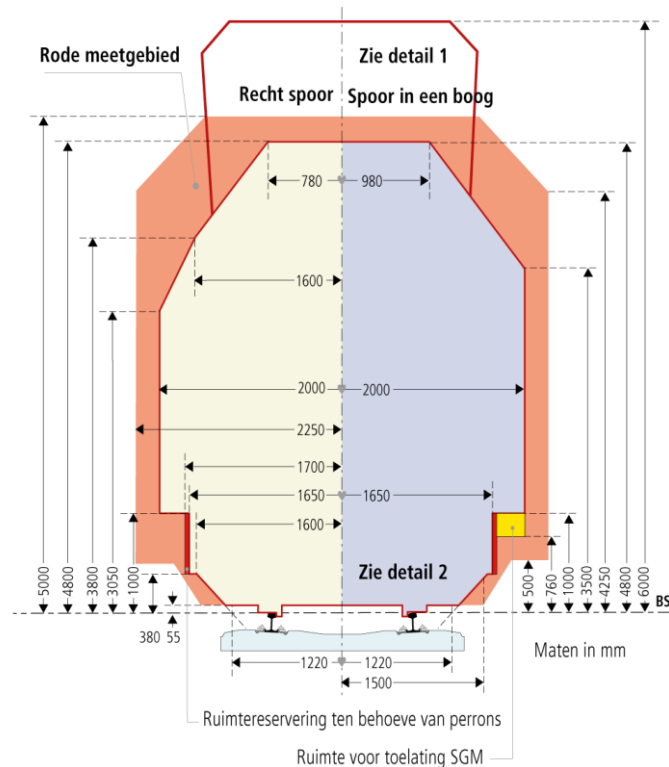


Figure 5.1: Clearance profile PVR-NL (Railcenter, n.d.)

The objects closest to the current track are the platforms. According to the director, these platforms are around 0.5 metres in height from the top of the rail and located between 0.5 to 1 meter from the heart of the rail (van den Broeke, personal communications, 2021). The door opening should be levelled and distanced appropriately from the platform to allow for easy (dis)embarking. If this is not possible, expandable extensions could be implemented.

It should be noted that the platform height is lower than the one applied on the national passenger network, which is 0.76 metres from the top of the rails (Boogaard, 2020). The floor height of the vehicle will therefore be lower than the one applied to trains on the national rail network.

5.1.2. Vehicle length and layout options

A proper way to decide upon the length of a vehicle is to utilize the required peak hour intensity of the railway line. This will largely determine the necessary passenger capacity. As detailed seat and standing places plans are beyond the scope of this report, a simplification is necessary. With the estimated width discussed in section 3.3.1. to be 3 metres, an amount of passenger capacity per unit of area is required to calculate the resulting length of the vehicle.

The ‘Centrum Vernieuwing Openbaar Vervoer’, an independent knowledge institute for encouraging and supporting (local) governments to realize better public transport (CVOV, 2003), publishes catalogues on different types of rolling stock. This catalogue contains details on passenger capacity for light rail vehicles. To estimate the capacity per unit of area, the average was taken of the provided capacity per unit of length divided by the width of the vehicle. The resulting table and results can be found in Appendix G.

This calculation results in 2.6 passengers per square meter. As the width of the vehicle is estimated to be 3 metres wide, the resulting passengers per meter of vehicle is 7.8 . The resulting total necessary vehicle length is 61 metres, which would be able to fit on the storage tracks at Medemblik.

Although physically possible, a vehicle with this length is not economical. The entire peak hour intensity would be able to be transported at a frequency of once per hour. As visible in the transport analysis and stakeholder analysis, this low frequency is undesirable. When the capacity is divided up into two vehicles, this would result in a vehicle length of 31 metres, allowing for a higher (economic) frequency.

However, due to the changing demand for transportation during the day, it should be asked whether or not the vehicle is required to be this length. An empty vehicle is still a considerable amount of weight to be moved with electrical energy. It could be argued that this is not in line with the concept of ‘light’ rail aimed at being a cost-efficient way of operating passenger services. If the morning peak hour intensity is divided up into four vehicles, this would result in a vehicle length of around 15 metres. These vehicles could be coupled in pairs during the peak hours of the day and decoupled outside these hours, saving unnecessary use of energy.

In terms of layout it should be stressed that all vehicles should have capabilities to be operated in both directions, likely resulting in the vehicles having a drivers cabin on both ends. This cabin will take up space, and should be accounted for in the length estimations. An estimation of 1.8 metres is made based on available technical drawing provided by Siemens for the Hague Avenio trams (Siemens Mobility GmbH, n.d.). This results in the 31 meter variant becoming 32 metres long and the 15 meter variant becoming 18 metres long. It should be noted that the coupling mechanism of vehicles may occupy space as well. Due to its relatively small size compared to the rest of the vehicles however, this is not taken into account in further considerations within the report.

Furthermore, the 61 and 32 meter vehicle options likely will need to be divided up into separate cars connected through articulated segments to limit the occupation of space when driving through a curve.

The logistics of the three options are further discussed in section 5.1.3. and assessed in 5.1.4. The three options for operations during peak hour are schematized in figure 5.2 and will hence be referred to as variant I , II and III.

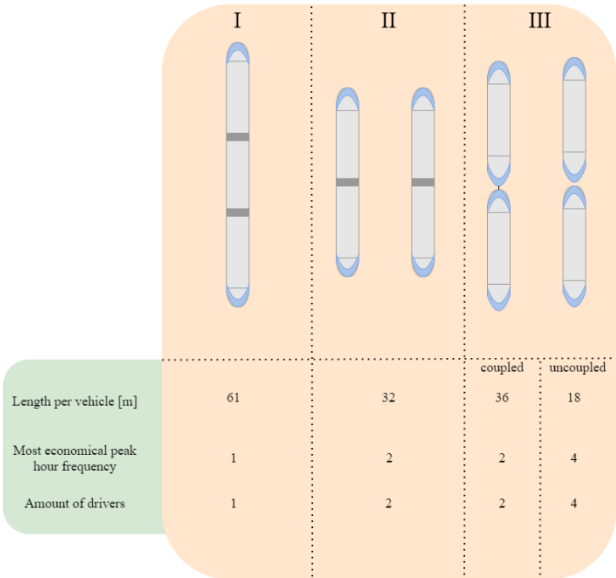


Figure 5.2: Three alternative vehicle options.

5.1.3. Charging and vehicle maintenance logistics

Sometimes vehicles are taken out of service, but for foreseen and unforeseen reasons. A foreseen reason is that the vehicles will have to be charged or undergo scheduled maintenance. An unforeseen reason could be a vehicle needing emergency repairs and will not be able to be used for a longer period of time. In this section, some considerations on these fields are discussed, and an advice on what the favourable vehicle length is in regards to the alternatives of section 5.1.2.

For the considerations regarding charging battery-electric vehicles, the interview with Dirk Jan Brakel is utilized on his expertise regarding charging logistics. He stated that in the case of the electrical buses in Amsterdam, every possible moment is used for charging and he suggested that this charging can be woven into the service schedule (Brakel, personal communications, 2021).

An aspect that came up in regards to the required power output and volume of the battery, he stated that the heavier a vehicle is, the more power is necessary. This implies that as much as possible unnecessary weight is to be avoided. In relation to the vehicle alternatives I, II and III, alternative III has the potential of coupling and decoupling vehicles when necessary. This means that outside of the peak hours, the surplus capacity can be removed by decoupling. This in turn saves weight and reduces the amount of power necessary for propelling the vehicle.

Another aspect is when the vehicle can be charged. The size and weight of the battery is dependent on the amount of energy that is to be stored. According to Dirk-Jan Brakel, there are batteries that are able to charge 5 to 10 times as quickly as they are being used for propulsion (Brakel, personal communications, 2021). Different options can be thought of in terms of charging logistics, amongst which:

- Charging the vehicles at night;
- Charging part of the fleet of vehicles outside peak hours;
- Charging the vehicles when they turn around on the ends of the line.

Only charging at night likely results in the largest battery. Charging part of the fleet could result in a lower frequency outside of peak hours, or the acquisition of back-up vehicles whilst others are charging. The last option will likely result in the smallest and lightest battery, but could impact the frequency of the passenger services as it takes time to charge.

In regards to maintenance, if one vehicle is undergoing maintenance, it cannot be used for service operations. A possibility is that a back-up vehicle takes over the service operations of the vehicle in maintenance. For this, an extra vehicle will have to be acquired. This option becomes more attractive when the vehicle considered is relatively cheap. If there are more vehicles in the fleet, a more flexible maintenance regime can be applied. From the three alternatives posed in section 5.1.2. , the 61 metre alternative will likely lead to the most expensive back-up vehicle, followed by the 32 metre alternative. A single 18 metre vehicle will likely be the cheapest option.

A final note can be made on the effect of the length of the vehicles on land acquisition. To operate the line, stops must be constructed. These stops will have to be as long as to accommodate the vehicle length, to allow passengers to embark and disembark. Shorter vehicles will result in lower land acquisition costs. For the three alternatives provided in section 5.1.2. , alternative III with uncoupled vehicles results in the shortest stop length in peak hour conditions. If during peak hours, vehicles of alternative III are to be coupled, alternative II provides the shortest platform length.

This report recommends the use of smaller vehicles, to be coupled during peak hours. This as to reduce the unnecessary weight and thus power outside peak hours, when a lower capacity is required. Some of the smaller vehicles can be charged outside the peak hours, allowing for smaller batteries than charging at night. A point should be made however that a lot of different considerations are involved in making a responsible decision. Therefore, although a preference is stated on basis of this brief analysis, the report recommends the conduction of a complete cost-benefit analysis.

5.2. Safety and signalling

From the analyses and the framework, it can be concluded that the current safety and signalling system is unsuitable for a public transport connection. The legal framework provides that the Wet lokaal spoor leaves a lot of room in the safety of operations to the province executive board, the beheerder and the vervoerder. To understand this better, an interview was conducted with an expert on light rail safety Ir. Ronald de Zutter. The transcript of the interview can be found in Appendix D. The interview discussed multiple different aspects that can be divided up into safety system options, safety for crossing transport and emergency measures.

5.2.1. Safety system options

One of the requirements deduced from the analysis is that a safety and signalling system should have limited impact on the museal experience that the historic tram service offers. When discussing this with de Zutter he stated that there are systems in existence that require very limited external signalling. This system is called “cabin signalling” and functions as follows (De Zutter, personal communications 2021):

- The track is divided into various sections, with at least the required braking distance for the vehicles.
- A vehicle enters a section when it is free and is allowed to drive the maximum track speed if the next section is empty.
- If the next section is not empty, braking is imposed in such a capacity that the vehicle comes to a standstill before the start of the next section. The driver is tasked to comply with this braking and emergency measures are in place if he fails to do so.

In this situation, no external signalling is necessary, but the vehicles and track must be suitable for this system and this brings high costs along with it. When asked whether or not a central regulatory system would be necessary, De Zutter stated that this would not be recommended for such a relatively short track. Instead communications could be organized through a vehicle requesting the right to make use of a track to small independent interlocking installations which in turn communicate with one and other.

Another note that is made is that on all elements necessary for normal operations on the line, security has to be applied. This includes the switches for the double track (passing) sections and the switches necessary for the stop track choice (De Zutter, personal communications, 2021).

On the matter of the speed the vehicles would be driving and the impact that this would have on the safety implications of the operations, De Zutter suggested that for speeds up to 70 kilometres per hour, most safety could be regulated through vision-based interventions. If this were the case, an option could be that, for the safe use of the single track segments of the railway line, tram safety measures and signalling could be applied. However, with the risk of two vehicles crossing each other without an automatic train protection system, extra measures will have to be put in place. Ideas for these measures will be discussed in section 5.2.3. .

When the observation was stated that the security implementations are appearing to come down to higher speed with an integral safety system and lower speeds without, De Zutter remarked that due to the large sections of single track, a likely solution could be to utilize interlocking from the train sector with applications of the tramworld. The following two options were stated by De Zutter:

If an invisible signalling system is desired, one would move towards cabin signalling and therefore a full security system. The financial burden of this would be high.

If vehicles would travel just 50 kilometres per hour and claim this can be done safely with vision-based interventions, this last aspect is to be verified. In this case, railway crossings can be managed through the use of a traffic installation. The one obstacle remaining in these situations would be the single track sections of the line, which will have to be equipped with a safety and signalling installation. A possibility is to utilize small signalling mechanisms that limit the visual impact on the museal character. Once again, the importance of emergency measures whenever a signal is ignored was stressed by De Zutter. This way, by arranging the line as a tramline with the only special aspect being the long single track sections, it can be solved in a cost-efficient way.

It could be argued that an invisible line would be most favourable for the appearance of the museum tramway, resulting in cabin signalling. De Zutter stresses that this brings along high costs, costs that can be largely avoided if it is opted to apply tram signalling and safety measures as well as emergency measures. Nevertheless, the exact financial implications are beyond the confines of this report and are subject to further research in determining the most favourable solution. For now, the emergency measures for the tram safety and signalling system option are considered further in section 5.2.3. ..

5.2.2. Safety for crossing transport

The measures taken to ensure the safety for crossing transport can vary with the speed upon which a vehicle crosses this other traffic. The CROW kennisbank provides guidelines regarding the safety of tram crossings in an urban environment. Three main guidelines in regards to safety mechanisms in relation to speed are defined as follows (CROW, 2007):

- A simple sign suffices when there are extremely good sightlines between the vehicle and the crossing traffic, the speed of the vehicle is limited to 20 kilometres per hour on the crossing, the crossing traffic has a low intensity and the road traffic is familiar with the situation. Furthermore, signs as an exclusive measure are not recommended for car traffic crossing the railway.
- Tram warning lights are to be applied when there are good sightlines between the vehicle and the crossing traffic, the speed of the vehicle is lower than 40 kilometres per hour, the road can be classified as an access road and the intensity of said road is relatively low.
- When speeds are higher than 70 kilometres per hour, visual-based interventions from the tram driver are no longer feasible. The tram crossing should be equipped with beams.

In the interview with Ronald de Zutter, it is stressed that the line should obtain a permit in regards to being operated. He stated that in order to obtain this permit, a dossier containing information of the safe use of the infrastructure and services should be provided. When reducing speed on crossings to 40 kilometres per hour, a traffic installation could prove to be sufficient when there are sufficient sightlines. However, integral decisions will have to be made in this regards (De Zutter, personal communications, 2021).

Most of the current crossings in Hoorn are already guarded through lighting installations and beams, but most crossings in the municipality of Medemblik are not. To reduce costs, a traffic installation in the form of traffic lights can be applied at the as of now unguarded crossings. The crossing speed of vehicles will likely have to be limited to 40 kilometres per hour in compliance with the guidelines of the CROW and the advice provided by Ronald de Zutter.

5.2.3. Emergency measures

During the interview with Ronald de Zutter, the importance of safety mechanisms when a sign is ignored was stressed when utilizing a safety system comparable to tramways. This has to do with the insufficient capability of the vehicle drivers to oversee the entire single track segment of the line, thus visual-based interventions are limited.

Two possibilities were discussed:

- The implementations of safety side tracks that diverge a vehicle when a sign is ignored;
- The implementation of emergency derailment mechanisms that derail a vehicle when a sign is ignored.

The former is more visible than the latter and costs more than the latter in terms of construction. The latter however can cause serious damage to the vehicle when activated. These safety mechanisms are to be applied at the start of every block section of the railway. A more integral assessment will have to be made in regards to the possible risks and damages each of these measures provides.

5.3. Environmental effects

The reintroduction of passenger services along the railway line will cause environmental effects in the form of crossings, impact of the museal character of the railway line, impact on the operations of the museum service and necessary structures. It is stressed that many effects are dependent on the operational details, to be determined in future research.

5.3.1. Crossings

First of all, some crossings will have to be adjusted to meet the safety requirements stated in section 5.2. . In Hoor, most crossings already contain beams and a traffic installation, but the crossings in the municipality of Medemblik are for the most part yet unguarded.

The frequency and times of day on which services take place may impact the traffic flows on the surrounding road network. Special attention is to be given to the provincial road N307, which forms a major road connection. If further research proves that there will be congestion problems, a levelled crossing or similar solution is to be considered.

For the private roads between Opperdoes and Medemblik, a more integral solution is required. These crossings are relatively small in size and likely have a very low intensity. To keep speed reductions to a minimum, a solution involving the reduction of crossings can be considered as desirable.

5.3.2. Museal character

Depending on what safety and signalling system is to be put in place, an effect can be observed on the museal character on the railway. A full cabin signalling system likely has the least impact on the museal character as it is practically out of sight, but a tram signalling option as discussed in section 5.2. can also have very limited visual impact.

5.3.3. Museum service

Combining passenger services with a museum service on the same day is a possibility as can be observed with the STAR reference project. The key is the separate occurrence of the two different regimes. As the Museumstoomtram operates, in regular exploitation, once or twice per day outside of peak hours, a number of options can be considered in further research:

- Not operating the public passenger service on hours where the museum service operates;
- Investigate the possibilities for utilization of the different sections of the track by both different services (reduce frequency, extra safety measures);

Other options can be considered as well, but their effect on the museum service and reliability of the public transport system should be weighted carefully.

5.3.4. Structure

A closed-off structure is necessary for the maintaining and charging the vehicles. This will likely have to be built on one of the track's ends. From the rail system analysis, it followed that the run-off tracks at Medemblik are currently only utilized for arranging the trams and not for storage, making this a likely location. This structure will occupy a certain size, as it harbours both the charging installation, maintenance capabilities and storage of the vehicles. In the interview with Dirk-Jan Brakel, he stated that a charging system produces a lot of heat (Brakel, personal communications, 2021). This will have to be taken into account as well when constructing and designing this structure.

6. Conclusion and Recommendations

This report has attempted to describe some of the aspects involved in reviving passenger services on a museum railway line. Through the use of a case it is believed that an appropriate image in the current infrastructure and operations of such a museum railway line in the Netherlands is provided. By placing the focus on reutilization of the existing infrastructure and limiting interventions on the infrastructure, the following conclusions are reached.

The analyses of the case shows that there is a certain demand for public transport in the area. This is backed up by the results of the stakeholder analysis, the province wishes to develop a high quality public transport corridor. A critical note should be made that most of the potential demand in public transport was gathered through general, nationwide statistics. A more detailed study could provide different results, and some uncertainty should be taken into account in the calculation procedure.

The legal framework provides a clear answer as to whether or not reactivation is possible in legal sense. When the railway is designated as a regional railway line, a lot of the legal implications are not defined and come down to (political and safety) considerations from the province executive board, the beheerder (railway manager) and a potential vervoerder (transport service provider). The exact conditions for reactivation can vary for each situation. It should be stressed that the matter of reactivation is mostly a political choice, not a legal impossibility.

When examining the technical limitations the tracks poses, the alignment and layout are two dominant factors. The track contains a number of relatively sharp curves without cant and through comfort requirements some limitations in regards to the driving speed on these sections can be concluded. The railway is mostly single track, providing limitations in passage opportunities and therefore the maximum allowable frequency.

Due to the museal character of the railway line, the form of traction of the vehicles should not be assisted through a catenary system or third rail. Instead the traction system and power source are to be included in the vehicles themselves. This report recommends the use of battery-electric vehicles.

In regards to operations, a number of short conclusions were reached.

First of all an indication of the necessary total peak hour vehicle length is determined to be 61 metres. Through this indication, and taking into account maintenance and charging logistics, the report advises the utilization of coupling multiple smaller vehicles for a more flexible and energy efficient logistical structure.

Safety and signalling is largely dependent on the various considerations made by governments. A range of options is available for safe use of the railway line. Some options such as cabin signalling can be completely invisible, but this brings along high costs. Other options such as tram signalling with emergency measures are cheaper, but will have more visual impact on the railway line.

As for environmental effects, the reactivation will certainly have consequences. Safety of the crossing road traffic is to be ensured. Reactivation will also impact the line visually, depending on the safety and signalling system applied to the line. Implications on how to deal with the museum services are also a point of further research, but the frequency, speed and agreements between different parties make this a more complex question that goes beyond the confines of this report. Furthermore, a structure will have to be designed and built for the maintenance, storage and charging of the vehicles.

The report strongly advises further exploration of this concept and hopes to provide a basis on which further deliberations and considerations can be developed further. It is believed that the conduction of a societal cost-benefit analysis can be of assistance in the development of more operational details and business case.

Another recommendation this report brings up is the necessity of a reactivation for this case. From the public transport vision of the Province of North Holland it was determined that in political sense, there is the will to create a rapid public transport connection for the area. Whether or not this should be achieved by the reactivation of public rail transport in this case is not clear. This is supported by the existing road network from the transport analysis. A motorway runs from north to south of the case area, connecting some of the cores directly to Hoorn. This motorway could be utilized by road vehicles to provide a higher quality of public transport.

An drawback of battery-electric vehicles is that they take time to charge. This drawback is eliminated in fuel-based traction systems. This report has stated that the traction system of the vehicles could also be based on hydrogen. With modern insights, this could indeed be a possibility on par with the battery-electric traction system that this report recommends. Further research on the possibility of the implementation of hydrogen-fuelled vehicles on this line could provide a more definitive answer to this. Aspects that come to mind are the costs, logistics and environmental impacts of this power source compared to battery-electric and other traction systems.

A study into the environmental benefits for the region, land use increase, effect on urbanisation and planning could also provide an interesting topic for further research. A reactivation would likely impact these various aspects as well.

An addition could be a further investigation into the frequencies, stops and catchment of the line. This report focused primarily on the technical and legal framework required for reactivation, not the impact of station locations and the resulting acceleration and deceleration required. A study on the maximum catchment and speed and/or frequency implications could be advisable. The impact that stops have on the single line.

Further investigation should also be put on the effects that the current state of the infrastructure has on the maximum allowable speed and maintenance to the infrastructure. The current lifecycle of the track infrastructure is 40 years, as now every year, 500 metres of track is restored. When passenger services are revived, it remains to be seen if this lifecycle is sufficient. The effects of an increased intensity of vehicles running over the track should be monitored and further analysed to draw conclusions on this matter.

A final recommendation has to do with the effects of a safety and signalling system in relation to the historical character of the railway line and the effects on the museum service. Invisible signalling systems are desirable but expensive, visible signalling systems are cheaper but may damage the character. More research is to be conducted what the considerations can be for the different safety systems. This could be done through the use of a cost-benefit analysis, in which the visual impact is offset by the costs. Another point of note is how the museum service interacts with the applied safety system. This raises questions as to how the museum vehicles are affected and as to what extent museum personnel has to follow official training to be allowed to drive on the museum tramway.

References

- Besluit bijzondere spoorwegen. (2015, June 25). Retrieved October 6, 2021, from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0036778/2016-10-01>
- Bogaard, P. V. D. (2020, August 2). *ProRail investeert 40 miljoen euro in perronvernieuwing en onderhoud*. SpoorPro. Retrieved September 30, 2021, from <https://www.spoorpro.nl/spoorbouw/2019/09/20/prorail-investeert-40-miljoen-euro-in-perronvernieuwing-en-onderhoud/>
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2021a). *CBS statline*. CBS Statline. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/85039NED/table?dl=583D4>
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2021b, February 8). *Hoeveel wordt er met het openbaar vervoer gereisd?* <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/verkeer-en-vervoer/personen/openbaar-vervoer>
- Connexxion. (2021). *Reisplanner*. <https://www.connexxion.nl/nl/reisinformatie/actuele-reisinformatie/reisplanner>
- CROW. (2007, September 1). *Leidraad inpassing tram in stedelijk gebied*. CROW Kennisbank. Retrieved October 9, 2021, from <https://kennisbank.crow.nl/Kennismodule#7032>
- CVOV. (2003). *WAT catalogus materieel openbaar vervoer*. https://puc.overheid.nl/PUC/Handlers/DownloadDocument.ashx?identifier=PUC_57392_31&versienummer=1
- Erjavec, Jack. (2013). *Hybrid, Electric and Fuel-Cell Vehicles (2nd Edition)*. Cengage Learning, Inc.. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpHEFCVE05/hybrid-electric-fuel/hybrid-electric-fuel>

Gemeente Amsterdam, Gemeente Almere, Vervoerregio Amsterdam, Provincie Noord-Holland, & Provincie Flevoland. (2019, November). *Regionaal OV Toekomstbeeld 2040 Noord Holland en Flevoland*. <https://www.noord-holland.nl/dsresource?objectid=99165dbe-c109-43a8-a591-1dba3256f504&type=PDF>

Gemeente Medemblik. (2020). *Subsidieprogramma 2021*. https://www.medemblik.nl/fileadmin/Medemblik/website/Documenten/Subsidies/Subsidieprogramma_2021.pdf

Google. (2021). *Google Maps*. Google Maps. Retrieved September 5, 2021, from <https://www.google.com/maps/@52.6919948,5.0427181,11.39z>

Hansen, I. A., Opstal, P. C. H., & Wiggenraad, P. B. L. (2003, August). *Functional and Structural Design of Roads and Railways. Part B: Functional design of railways [Reader]*. Brightspace. <https://brightspace.tudelft.nl/d2l/le/content/289526/viewContent/1887362/View>

Metselaar, D. (2020, October 6). *Groningen gaat dieseltrein vervangen door waterstofrein*. OVPro.nl. Retrieved October 16, 2021, from <https://www.ovpro.nl/trein/2020/09/30/groningen-gaat-dieseltrein-vervangen-door-waterstofrein/>

Museumstoomtram Hoorn-Medemblik. (n.d.-a). *Missie*. Retrieved September 17, 2021, from <https://www.stoomtram.nl/organisatie/missie/>

Museumstoomtram Hoorn-Medemblik. (n.d.-b). *Organisatie*. Retrieved September 17, 2021, from <https://www.stoomtram.nl/organisatie/>

Museumstoomtram Hoorn-Medemblik. (n.d.-c). *Seinhuis Hoorn*. Retrieved September 18, 2021, from <https://www.stoomtram.nl/collectie/stations-en-gebouwen/seinhuis-hoorn/>

Museumstoomtram Hoorn-Medemblik. (n.d.-d). *Twisk*. Retrieved September 17, 2021, from <https://www.stoomtram.nl/collectie/seinen/twisk/>

- Museumstoomtram Hoorn-Medemblik. (2020, December). *Nieuws van langs de lijn 7*.
<https://www.stoomtram.nl/wp-content/uploads/2020/11/NIEUWS-van-langs-de-Lijn-7.pdf>
- Museumstoomtram Hoorn-Medemblik. (2021). *Dienstregeling poster 2021*.
https://www.stoomtram.nl/wp-content/uploads/2021/05/438_SHM_dienstregeling-poster-2021-NL-HR_.pdf
- OpenStreetMap. (n.d.). *OpenStreetMap*. Retrieved September 20, 2021, from
<https://www.openstreetmap.org/#map=17/52.64496/5.05450>
- Puylaert, G. (2019, June 17). *Stoom- en stoptrein op spoor Stadskanaal*. OV-Magazine.
Retrieved October 10, 2021, from <https://www.ovmagazine.nl/nieuws/stoom-en-stoptrein-op-spoor-stadskanaal>
- Railcenter. (n.d.). [Clearance profile PVR-NL]. *Belangrijkste Maten van Het PVR-NL*.
<https://matenkaartje.railcenter.nl/wp-content/uploads/2017/05/belangrijkste-maten-van-het-pvr-nl.png>
- Reuvers, J. (2020, February 26). *Uniek in Nederland: Arriva en STAR samen tussen Stadskanaal en Veendam*. RTV Drenthe. Retrieved October 10, 2021, from
<https://www.rtvdrenthe.nl/nieuws/145036/Uniek-in-Nederland-Arriva-en-STAR-samen-tussen-Stadskanaal-en-Veendam>
- Scheepmaker, P. (2004, October). *Bijlage 6*. [https://www.crow.nl/getmedia/056b0281-8cd0-407f-9b3d-a5fb1c608955/Bijlage-F5-Profiel-van-Vrije-Ruimte-\(PVR\).pdf.aspx?ext=.pdf](https://www.crow.nl/getmedia/056b0281-8cd0-407f-9b3d-a5fb1c608955/Bijlage-F5-Profiel-van-Vrije-Ruimte-(PVR).pdf.aspx?ext=.pdf)
- Siemens Mobility GmbH.(n.d.). *Avenio Tram The Hague, Netherlands*.
https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:49616ba1-af7f-4e2a-94a3-5be83b0ee409/180309_-avenio_datenblattdenhaagv020en.pdf
- Spoorwegwet . (2003, April 23). Retrieved October 6, 2021, from

<https://wetten.overheid.nl/BWBR0015007/2021-07-01>

SporenplanOnline. (n.d.). *Den Helder-Haarlem-Amsterdam-Lelystad*. Retrieved September 20, 2021, from http://www.sporenplan.nl/html_nl/sporenplan/ns/ns_normaal/asd.html

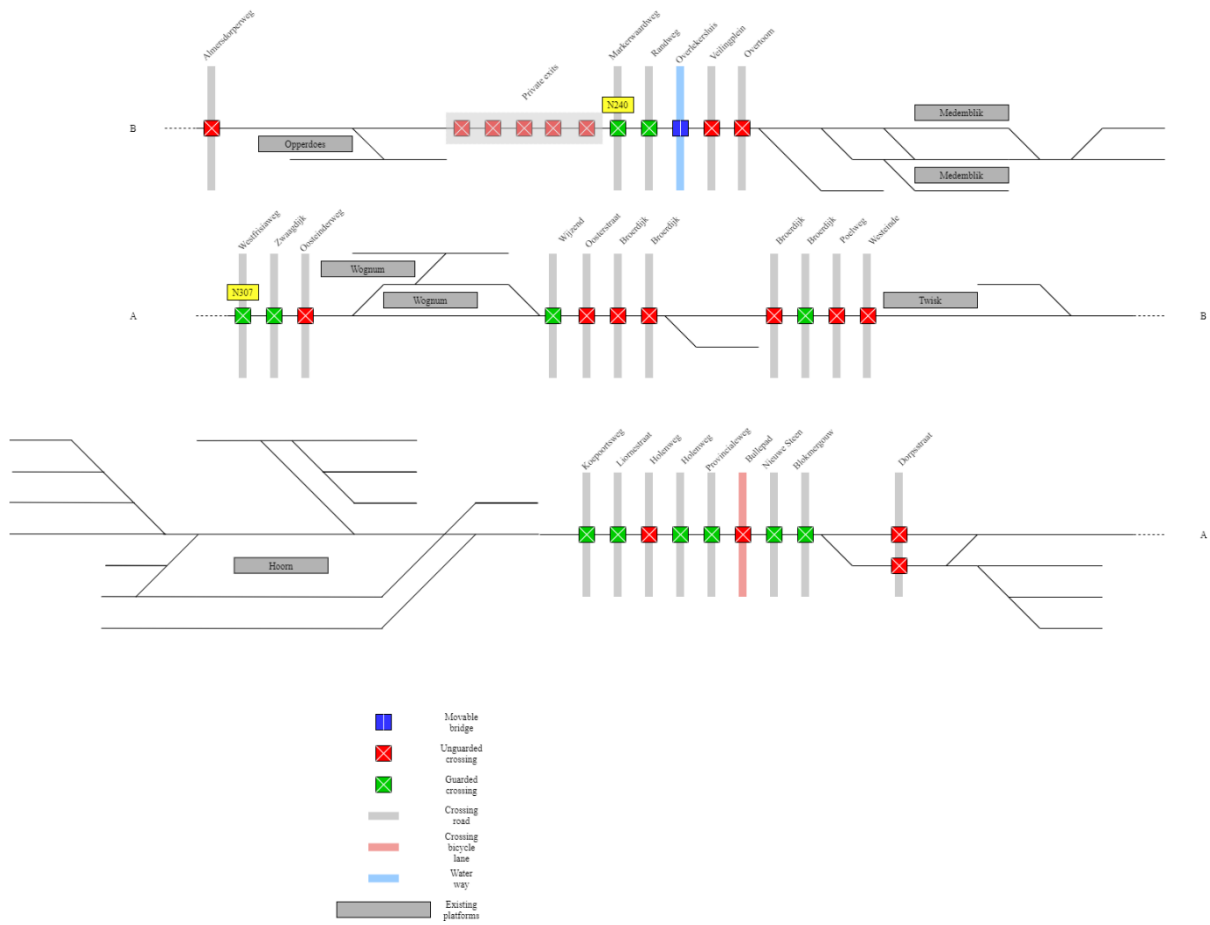
Treinreiziger.nl. (2017, May 30). *Trein Groningen – Stadskanaal nog ver weg*. Retrieved October 10, 2021, from <https://www.treinreiziger.nl/trein-groningen-stadskanaal-nog-ver-weg/>

Wet lokaal spoor. (2013, July 13). Retrieved October 6, 2021, from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0034363/2021-07-01>

Wet personenvervoer 2000. (2000, July 6). Retrieved October 6, 2021, from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0011470/2021-07-01>

Appendix A: Track layout

Figure A.1: Track layout



This plan has been constructed through information on Openstreetmap (Openstreetmap, n.d.), Google Maps (Google, 2021) and SporenplanOnline (SporenplanOnline, n.d.).

Appendix B: CBS statistics on age groups in the municipality of Medemblik

Table B.1 statistics on the age build-up of the municipality of Medemblik

Name	0-14	15-24	25-44	45-64	65+
Zwaagdijk-West	95	85	120	185	110
Wognum (excl. Wognum Wadway)	1045	800	1385	1800	1220
Nibbixwoud	420	335	510	655	560
Benningbroek and Sijbekarspel	245	200	370	490	305
Abbekerk	290	225	410	615	540
Midwoud	360	285	550	705	520
Oostwoud	95	125	159	305	205
Twisk	160	125	175	380	260
Opperdoes	310	265	400	590	375
Medemblik	1380	965	1920	2340	1905
Total	4400	3410	5999	8065	6000

(Centraal Bureau voor de Statistiek, 2021-a)

Table B.2 statistics on the use of public transport in terms of societal participation

OV-gebruikers¹⁾ naar maatschappelijke participatie, 2019

Maatschappelijke participatie OV-gebruik (% van personen van 6 jaar of ouder)

Totaal	8,6
Werkzaam: 12 tot 30 uur pw	8,4
Werkzaam: 30 uur pw of meer	9,9
Student/scholier	13
Werkloos	6,6
Arbeidsongeschikt	5,6
Gepensioneerd/VUT	3,7
Overige	5

1) Personen die op een gemiddelde dag minimaal één rit met het OV maken

(Centraal Bureau voor de Statistiek, 2021-b)

Appendix C: Reaction Municipality of Hoorn

In this appendix, the reaction of the municipality of Hoorn can be found to the questions asked in **bold**. The reaction was provided per e-mail by Boy Boukens, traffic engineer currently employed by the municipality of Hoorn, on October 6th 2021.

Zijn er in de ogen van de gemeente huidige tekortkomingen in het openbaar vervoersnetwerk van de gemeente Hoorn?

- Met betrekking tot de museumstoomtram zijn er nog enkele onbeveiligde overwegen op het traject tussen Medemblik en Hoorn. Binnen de stedelijke omgeving van de gemeente Hoorn vinden we dat deze overwegen op termijn beveiligd zouden moeten zijn met een overweginstallatie. Overweg Dorpsstraat wordt momenteel beveiligd met knipperlichten en slagbomen. De gemeente heeft hiervoor de overweg aangepast. De Museumstoomtram plaatst de overweginstallatie. De Provincie NH heeft hier een subsidie voor verleend. Overweg Westerblokker is volgend jaar aan onderhoud toe. Ook daar is het voornemen deze overweg te beveiligen. Daarna blijft alleen de Holenweg nog over. Aangezien dat een toegangsweg is naar enkele woningen en de snelheid van de tram hier laag is, is de stoomtram niet voornemens deze overweg te beveiligen.
- Met betrekking tot regulier openbaar vervoer heeft de gemeente Hoorn een goede spoorverbinding met Enkhuizen, Alkmaar en Amsterdam. Veel groei van de reizigersaantallen is echter niet mogelijk zonder uitbreiding van de dienstregeling. Busvervoer binnen de gemeentegrenzen is beperkt geschikt voor reizen vanuit de wijken naar het centrum van de stad Hoorn. Het lastige is dat de stad ontsloten wordt door streeklijnen. Met de uitdijende stad lopen we daar nu tegen de grenzen van de mogelijkheden aan. In de onlangs vastgestelde Mobiliteitsvisie is de ambitie uitgesproken een ringlijn in te voeren zodat wijken met elkaar worden verbonden. Hierbij kunnen dan ook de streeklijnen worden gestrekt.

De spoorlijn kruist meerdere lokale wegen, waaronder de 'Provincialeweg', 'Nieuwe Steen', 'Blokmergouw' en 'Dorpsstraat'.

1) Wat is de intensiteit van deze wegen tijdens de spits?

2) Levert de huidige dienstregeling problemen op voor de verkeersstromen op deze wegen?

3) Voorziet de gemeente problemen in de verkeersstromen op deze wegen wanneer er meer vervoer over de spoorlijn plaats zal vinden?

1. Provincialeweg 38.400 mvt per etmaal. (beveiligde overweg)
Nieuwe Steen 1.800 mvt per etmaal. (beveiligde overweg)
Blokmergouw 6.600 mvt per etmaal. (beveiligde overweg)
Dorpsstraat 6.600 mvt per etmaal. (beveiligde overweg)
2. Op de Nieuwe Steen, Blokmergouw en Dorpsstraat levert de museumstoomtram geen problemen op voor de verkeersstromen. Op de Provincialeweg wordt de verkeersregeling (Imflow VRI) die over de hele provinciale weg loopt onderbroken wanneer de stoomtram de provinciale weg kruist. Toch leidt de tijdelijke afsluiting niet tot enorme problemen voor de verkeersstromen.
3. Zolang het een museumstoomtram blijft die voornamelijk buiten de spits rijdt voorzien we op de gemeentelijke wegen geen problemen. Voor de doorstroming van de Westfriisaweg (N307) in beheer van de provincie zijn mogelijk meer gevolgen wanneer er meer vervoer over de spoorlijn zou plaatsvinden.

Hoe kijkt de gemeente tegen de huidige onbeveiligde overwegen van de museumlijn aan?

De gemeente is groot voorstander om alle overwegen binnen de gemeente te voorzien van een overwegbeveiliging.

De gemeente Hoorn lijkt in haar grootte en met de aanwezigheid van een intercity treinstation een regionaal centrum te zijn voor de omliggende kernen zoals Medemblik.

1) Is dit terug te zien in het verkeer in de ochtend en avondspits?

2) Levert dit (bijvoorbeeld rondom het station) problemen op op het gebied van parkeren?

1. De voorzieningen in de gemeente Hoorn hebben een regionale functie. Denk hierbij onder andere aan het Ziekenhuis. Met deze regiofunctie is uiteraard in de ochtend en avondspits te zien dat het druk is op de toegangswegen van en naar Hoorn.
2. Parkeren in en rond het centrum heeft, bij de gebiedsontwikkeling Poort van Hoorn, de herinrichting stationsgebied Hoorn binnenstad, onze aandacht.

Appendix D: Interview Ronald de Zutter

Interviewed: Ir. Ronald de Zutter, Sr. Advisor Safety and System Integration at Mott MacDonald (R)

Interviewer: Wessel Roodenburg (I)

Further present: Dr. Ir. Eelco Schrik (E)

Date: 5 October 2021

Time: 13:00

Location: Online

I: De onderwerpen die vandaag op tafel liggen zijn veiligheid, gewicht, seinen en baanvaknsnelheid. Deze vier aspecten hangen allemaal samen. Om te beginnen met dit gesprek lijkt het mij nuttig om de huidige situatie uiteen te zetten. De spoorlijn die we beschouwen is de museumspoorlijn Hoorn-Medemblik. Dit is een grotendeels enkelsporige lijn die nu in gebruik is als toeristische museumstoomtramdienst. De huidige baanvaknsnelheid is 30 kilometer per uur. Er is sprake van onbeveiligde overwegen, handbediende wissels, een handjevol diensten per dag en de lijn rijdt door zowel stedelijk als niet stedelijk gebied. Wat dit rapport probeert de bereiken is het onderzoeken naar mogelijkheden voor het hervatten van passagiersdiensten met een frequentie van 2 tot 4 maal per uur per richting in de spits. Voertuigen zullen elkaar hierom moeten passeren, en snel op te kunnen trekken en remmen in verband met een verwachte grote hoeveelheid stops. Voertuigen zijn licht voor het beperken van trillingen en geluidsoverlast in de bebouwde kom en energiezuiniger in het optrek- en afremproces. De tractie van de voertuigen is batterij-elektrisch voor de beperking van stank, uitstoot en geluidsoverlast voor de omgeving. Om competitief te kunnen zijn met het huidig busvervoer in de streek is er een verhoging nodig van de gemiddelde snelheid naar minstens 40 kilometer per uur. Met stops en de tijd die nodig is om te keren zal een gedeeltelijke verhoging van de baanvaknsnelheid onvermijdelijk blijken.

Mijn allereerste vraag is: Waar is de baanvaknsnelheid zoal van afhankelijk?

R: Een museumspoorlijn heeft in Nederland de status van een bijzonder spoor. We kennen in Nederland 3 soorten sporen: hoofdspoor, lokaalspoor en bijzonder spoor. Hoofdspoor is alles wat door ProRail beheerd wordt. Lokaalspoor zijn alle tram- metro- en lightraillijnen. Wanneer spoor niet in een van deze categorieën valt is het bijzonder spoor. Wanneer openbaar vervoer wilt plegen over het spoor, valt dat onder de wet Personenvervoer. In mijn optiek is de status van bijzonder spoor niet te verenigen met openbaar reizigersvervoer. Dit zou inhouden dat er een wijziging van de wettelijke status nodig is. Wanneer er een verbinding onder de wet personenvervoer valt betekent dat dit onderdeel is van een vervoerregio of provincie als vervoersautoriteit. In dit geval zou dat betekenen dat de provincie Noord-Holland deze autoriteit zal zijn. Als het spoor wordt aangewezen als lokaal spoor betekent dat dat de provincie verantwoordelijk is voor de aanleg en veiligheid. Hieronder zal er een beheerorganisatie moeten komen die de lijn gaat beheren. Het is dus niet enkel een technisch probleem. De minister wijst aan welke infrastructuur onder hoofdspoor of lokaal spoor valt. Indien de lijn onder de wet Lokaal spoor valt schrijft de wet op technisch en inhoudelijk gebied vrijwel niks voor. De baanvaknsnelheid wordt bepaald door het bevoegd gezag, in andere woorden de provincie. Deze baseert het op waar de baan voor ontworpen is. Dit heeft onder andere te maken met de baanstabieleit, boogstralen, verkantingen en de hoeken van afbuigende wissels. Wetstechnisch staat het vrij een baanvaknsnelheid te bepalen, mits de baan daar geschikt voor is.

I: De kleinste boogstraal op het traject is 200 meter. Dit lijkt mij een belemmering in het behalen van hogere snelheden.

R: 200 meter is niet per se een krappe boog, in tramsystemen zijn er bogen die veel krappere zijn. Ter plaatse kan een snelheid lager zijn dan de baanvaknelheid. Er is in de infrastructuur altijd sprake van situaties waar de toegestane snelheid lager is dan de baanvaknelheid.

I: Het CROW schrijft een richtlijn van 20 kilometer per uur voor bij onbeveiligde overwegen. Hoe kijkt u hier tegenaan?

R: Een tram komt veel wegkruisingen tegen, dat zijn geen overwegen. Er wordt aangehouden dat trams deze kruisingen passeren met een snelheid van maximaal 40 kilometer per uur met een VRI (verkeersregelingsinstallatie) mits de omstandigheden dit toelaten. Een tram rijdt onbeveiligd en op zicht en heeft dezelfde status als de bestuurder van een auto. Een trambestuurder dient zich aan de geldende verkeersregels te houden en ongevallen te vermijden. In een tramsysteem komt men verkeerslichten tegen, vaak negenogen, waar aan gehouden dient te worden. De vraag is ‘hoe richt je zo’n systeem in?’ Wanneer men spreekt over een enkelsporig traject dient er een echte spoorbeveiliging aanwezig te zijn met een interlocking, wat voorkomt dat lightrailvoertuigen niet naar elkaar toerijden maar beurtelings gebruik maken van de infrastructuur. Dit is een ander regime dan op zicht rijden. Waar goed over na gedacht moet worden is hoe dat op te lossen is met kruisingen. Op zicht rijden is slecht te verenigen met het rijden op seinen.

Het overschakelen tussen beveiligd rijden en op zicht rijden op een traject zou één keer kunnen maar niet te vaak. Dat zou een constante wisseling van het regime in het handelen van de bestuurder opleveren. Het wisselen komt voor bij bijvoorbeeld RandstadRail. In het buitengebied werkt deze met seinen en ATP, maar zodra deze vanaf de tramtunnel de stad in rijden verandert dit in rijden op zicht. Destijds was het een harde eis dat er één omschakeling wordt gemaakt, ten behoeve van de consistentie.

Wat bij wegkruisingen wel kan is het toepassen van overwegbomen. Er is in Nederland echter een trend zichtbaar waarbij overwegen als gevaarlijk zijnde worden beschouwd. Overwegbomen sluiten het systeem af voor anderen. Beveiligde systemen werken in een gesloten systeem, waarin enkel railvoertuigen opereren. Deze railvoertuigen geven gehoor aan de beveiliging, zodat er geen conflicten plaatsvinden ongezien door het beveiligingssysteem. Een gesloten systeem is te creëren door de baan goed af te schermen en door bij overwegen overweginstallaties toe te passen. Indien er blokbeveiliging wordt toegepast om treinen uit dezelfde richting uit elkaar te houden, moeten daar ook maatregelen worden getroffen.

I: Wanneer rijden op zicht niet meer mogelijk is, is blokbeveiliging dan wenselijk?

R: Dat wordt al snel wenselijk. Al is het om een consistentie van het regime voor de bestuurders van de voertuigen te verkrijgen.

I: We hebben in deze situatie te maken met een lijn met een museaal karakter en een bepaalde status als zijnde museum. Zijn er manieren om de seinen vrijwel onzichtbaar in te passen, om zo het monumentale karakter te behouden?

R: Ja, cabinesignalering is een mogelijkheid, daar komen geen buitenseinen aan te pas, of dusdanig kleine buitenseinen. Bij de Rotterdamse metro wordt dit onder andere toegepast.

I: Hoe werkt een cabinesignalering?

R: Het spoor wordt opgedeeld in secties die minimaal de lengte van een remweg van het voertuig hebben. Een voertuig rijdt een sectie in als deze vrij is en als de opvolgende sectie ook vrij is mag je in deze sectie de baanvaknelheid rijden. Indien de opvolgende sectie niet vrij is wordt er een remming opgelegd, zodat het voertuig aan het begin van de volgende sectie stil kan staan. Dat kan met rood-geel-groene lichtseinen, maar ook met cabinesignalering. Hierbij wordt er een remcurve gegeven en de weergegeven snelheid bouwt af. Het is de taak aan de bestuurder om zich onder deze snelheid te

bevinden, indien dit niet lukt wordt er ingegrepen. Er zijn in dit geval geen seinen nodig, wel voertuigen met een ATP systeem met cabinesignalering en een geschikte baan. Hier zijn wel hoge kosten aan verbonden.

I: Is er in dit geval een centrale regelininstallatie nodig?

R: Over het algemeen staan er object controllers als detectiesysteem langs de baan die centraal gestuurd worden. Deze object controllers geven de detectie informatie door aan de centrale installatie over of een sectie vrij is of niet. Via dat detectiesysteem wordt de toegestane snelheid verstrekt naar het voertuig. Het zou ook lokaal opgelost kunnen worden met kleinere interlocking installaties die onderling informatie uitwisselen. Een aspect wat naar voren komt bij interlocking installaties is het aanvragen van een rijweg. Dit aanvragen kan vanuit een voertuig komen of een centraal gestuurd systeem. In deze laatste situatie zou een centraal systeem weten waar de voertuigen zich bevinden. In dit geval zou ik adviseren geen centraal geleid systeem te gebruiken, omdat het traject relatief klein is. Hoe lang is het traject en hoe veel wissels schat je dat je hebt?

I: Het traject is 20 kilometer lang, en er zijn een aantal passeerpunten (2) en zijsporen. Een van deze punten bevindt zich op een derde van het spoorlijn en op de helft.

R: Worden de zijsporen nog ergens voor gebruikt?

I: Op dit moment zijn deze niet in gebruik bij de reguliere dienst, wel lijkt er soms onderhoudsmaterieel op te worden gestald. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de hoeveelheid wegen die vanaf het emplacement in Hoorn gekruist worden. De wissels bij Hoorn en Wognum worden centraal bediend uit een seinhuis, de rest van de wissels worden handmatig bediend.

R: Alles wat regulier in de exploitatie wordt gebruikt, dus de wissels voor de passeersporen en de sporen voor de perronkeuze, dienen te worden beveiligd. Is er sprake van batterij gevoerde voertuigen?

I: Het is onwenselijk om een derde rail of bovenleiding te plaatsen, dus de energievoorziening dient in het voertuig zelf te zitten. Dit levert 3 opties op: diesel, batterij-elektrisch en waterstof.

R: Laadinstallaties leveren wel een knelpunt op. Ik schat in dat de huidige stroomtoevoer naar de lijn niet volstaat om een oplaadinstallatie te bedienen. Dit zal tot extra kosten leiden.

I: Zijn er richtlijnen over de remweg van een voertuig?

R: We spreken vaak over een remvertraging. De remweg is afhankelijk van de snelheid en de mogelijke remvertraging. Dit hangt er vanaf in wat voor systeem dit plaatsvindt. Operationele remvertraging in exploitatie ligt vaak rond de 1 meter per seconde kwadraat. Bij het hoofdspoor remmen treinen bij een noodremming niet veel harder, rond de 1,2 en 1,3 meter per seconde kwadraat. In de tramwereld zijn voertuigen ook verkeersdeelnemer. De remcapaciteit moet hierbij passen, een tram heeft tegenwoordig minimaal 3 meter per seconde kwadraat remvertraging. Dit heeft te maken met dat een tram in een niet gesloten systeem op zicht rijdt. Bij een gesloten systeem zou je met 1,2 tot 1,3 meter per seconde kwadraat voldoende remvertraging hebben.

I: Snelheidstechnisch gezien: wanneer is er nog sprake van rijden op zicht, en wanneer zijn er seinen nodig?

R: Tot snelheden van ongeveer 70 kilometer per uur is rijden op zicht nog mogelijk, maar dit is sterk afhankelijk van de zichtlijnen en van andere omstandigheden zoals het weer.

I: Zoals het er nu naar uitziet zullen de voertuigen minder dan 70 kilometer per uur rijden.

R: Een van de opties zou kunnen zijn dat er beveiliging wordt toegepast om de enkelsporige stukken veilig te kunnen bereiden in de vorm van seingeving zoals deze in de tramwereld wordt toegepast. Maar er dient iets extra's te worden toegepast bij gebrek aan ATP wat in werking treedt wanneer er een sein wordt genegeerd en twee voertuigen op elkaar afrijden. Wanneer de zichtlijnen volstaan zou dit in theorie kunnen. Noodoplossingen kunnen in de vorm van veiligheidskopjes, waar een voertuig naartoe geleid wordt en niet het enkelsporige traject op rijdt.

Om terug te komen op de wet lokaal spoor, er dient een in dienststellingsvergunning verleend te worden. Deze wordt verleend op basis van een informatiedossier met een argumentatie hoe het spoor veilig kan worden gebruikt. Wanneer er terug wordt geschakeld naar 40 kilometer per uur zouden kruisingen met een VRI kunnen worden beveiligd wanneer het zicht daar voldoende is. Er dienen hier integrale afwegingen over worden gemaakt.

I: Het lijkt steeds meer neer te komen of men treinen wilt laten kruisen op een grotendeels enkelsporig traject met beveiliging en wanneer dit voorkomen kan worden en de snelheid laag genoeg blijft zonder beveiliging.

R: Het lijkt mij dat de enkelsporige trajecten een groot deel van de lijn zijn en dit zou dan inhouden dat dit niet overzien kan worden op zicht. Dat betekent dat er een beveiliging moet worden ingesteld. Dit kan ingericht worden als een spoorse interlocking zoals die wordt toegepast op hoofdspoor met toepassingen uit de tramwereld.

Wanneer men in verband met het museale karakter een onzichtbaar beveiligingssysteem wilt hebben, gaat men echt toe richting cabinesignalering en dus een volwaardig beveiligingssysteem. Dit kost veel geld. Indien men slechts 50 kilometer per uur gaat rijden en zegt het op zicht te kunnen doen dient dit wel geverifieerd te worden. De kruisingen zouden in dit geval met een VRI geregeld kunnen worden. Wat overblijft in deze situatie zijn die enkelsporige trajecten, deze dien je wel te beveiligen. Mogelijkheden zijn hierbij kleine seinen die het beeld weinig verstoren. Wel dienen er hier maatregelen te worden genomen indien een sein vooralsnog wordt genegeerd, om ongevallen te voorkomen.

E: Ter informatie: de stoomtram rijdt met traditionele tokens. Deze worden uitgegeven aan het begin en ingenomen aan het eind van het baanvak. Dit is onhaalbaar met de gewenste frequentie.

R: En je zit vast aan het beurtelings passeren van hetzelfde traject. Je zou pas een token kunnen krijgen als iemand het traject in de andere richting heeft bereden. Het levert in die zin veel beperkingen op.

Je zou de lijn als tramsysteem in kunnen richten met als enige bijzonderheid die enkelsporige trajecten en daar veiligheidskopjes op toepassen. Op deze manier wordt er een enigszins betaalbare oplossing gerealiseerd, die het museale karakter zo min mogelijk aantast.

I: Zouden noodontsporingmechanieken ook van toepassing kunnen zijn in plaats van veiligheidskopjes?

R: Ja dat zou kunnen, dat is waarschijnlijk een goedkopere oplossing. Het is wel een heftige maatregel.

I: Een wat meer voertuiggerichte vraag: botsbeveiliging van voertuigen op lagere snelheden, zijn hier richtlijnen voor?

R: Er is een norm voor de crashbestendigheid van railvoertuigen en deze kent meerdere klassen, gekoppeld aan meerdere scenario's. Ook met name op overwegen, objecten en voertuigen onderling. Het hangt ervan af welk scenario's van toepassing zijn en op welke snelheden.

I: Wanneer railvoertuigen vrij licht zijn, kunnen deze problemen ervaren met optrekken bij gebrek aan normaalkracht en afremmen bij gebrek aan grip. Zijn er in uw ogen maatregelen denkbaar die dit compenseren of elimineren?

R: Nee, ik denk niet dat dit soort maatregelen er zijn. Wat belangrijk is, is adhesie. Die wrijvingskracht is direct evenredig met de normaalkracht en dit wordt grotendeels bepaald door het gewicht van het voertuig. Als er te weinig asdruk is kom je niet weg en kan je niet voldoende remmen. De orde-grootte van een aslast is 10 tot 20 ton.

I: Zou er bijvoorbeeld gekeken kunnen worden naar het materiaal van de wielen?

R: Staal op staal heeft een vrij lage rolweerstand, waardoor railvervoer juist zo efficiënt is. Het nadeel is dat adhesie beperkt is, waardoor er veel gewicht nodig is om in beweging te kunnen komen. Ik heb nog geen andere wiel-rail combinaties gezien. Beveiligingssytemen waren ook tot voor kort voornamelijk gedictieerd door stroomspoorlopen, waardoor isolerende materialen afvallen.

I: Zou u iets over remsystemen in de lightrail kunnen vertellen?

R: Het primaire remsysteem zijn elektrodynamische remmen, waarbij de motoren als generatoren gebruikt worden om de accu's weer op te laden. Dan zijn er mechanische remmen, vaak in de vorm van schijf remmen. Trams hebben ook nog magneetremmen of railremmen. Elektromagneten of permanente magneten worden hierbij op de rails gezakt, wat veel extra wrijving veroorzaakt. Deze werken alleen bij lage snelheden onder de 40 kilometer per uur.

I: Zijn er stille TWL systemen denkbaar?

R: Bij een TWL wordt er vrijwel altijd een bel toegepast, om slechthoorden te waarschuwen. Bij een VRI wordt dit verder ook vaak gedaan, om het risico op ongevallen te verminderen. Er zijn bellen waarbij het volume van het geluid wordt aangepast op het niveau van het omgevingsgeluid. Het geluid van deze bellen wordt ook niet direct ingeschakeld maar zwelt langzaam aan bij inschakeling.

Appendix E: Interview Dirk Jan Brakel

Interviewed: Ir. Dirk-Jan Brakel (R)

Interviewer: Wessel Roodenburg (I)

Date: 1 October 2021

Time: 14:00

Location: Online

I: In dit onderzoek worden de mogelijkheden en randvoorwaarden onderzocht over het introduceren van ultra-lichte railvoertuigen op museumspoorlijnen. Vanwege het monumentale karakter en museale beleving is er geen mogelijkheid om een bovenleiding of derde rail te plaatsen. Er dient dus een andere bron van energie voor de voertuigen te worden toegepast. Op dit moment bespreken we de verschillen tussen diesel- en batterij aangedreven voertuigen. Op dit moment zoek ik voornamelijk wat voor overwegingen spelen hierbij een rol een rol spelen. Om te beginnen, u bent betrokken geweest bij het implementeren van elektrische bussen in Amsterdam. Zou u uw rol hierin kort kunnen toelichten?

R: Ik gaf leiding aan dat programma. De stip op de horizon was al gezet, in 2030 zouden alle bussen emissievrij moeten zijn. Wij hebben gekeken naar welke technieken het meest haalbaar waren. Het bleek dat dat tussentijds bijladen (opportunity charging) was. Daar moesten wij slimme laadpunten voor vinden. In plaats van overal laadpalen te plaatsen kon men beter concentreren. Dat wordt op dit moment uitgerold: aanbesteding, bussen aanschaffen, laders aanschaffen, aannemers aan het werk zetten om dat allemaal te realiseren, redelijk breed. Een aspect wat hierbij kwam kijken was diesel of elektrisch, wat zijn de voor- en nadelen? Hoe ga je met je laders om. Verder weet ik ook vrij veel over treinen. Ik heb jaren bij de NS gewerkt, zowel bij NS internationaal als bij NedTrain, en ik heb daarna ook veel gewerkt voor leveranciers en klanten in de spoorwereld.

I: Kunt u de voordelen belichten die een overstap van diesel aangedreven voertuigen naar elektrisch aangedreven voertuigen met zich meebrengt?

R: In deze tijd zou je eigenlijk niet meer naar diesel willen kijken in verband met de uitstoot. Diesel valt in mijn ogen sowieso al af. Een voordeel aan diesel is dat de motoren goed zijn uitontwikkeld, bij batterij elektrisch is dat toch nog minder. Een elektrische motor is goedkoper in de aanschaf, daar komt wel nog het batterijpakket bij. Verder kost elektriciteit grofweg een derde van diesel per kWh. Batterij-elektrisch is verder stiller, schoner en lichter.

I: Lichter in de zin van dat een accu minder gewicht heeft dan een dieselmotor?

R: Lichter in de zin van dat je meer kunt spelen met het gewicht. Het ligt eraan hoe groot de batterij moet zijn.

I: Een van de zaken die naar voren kwam tijdens de analyse is dat de lijn zich in bebouwd gebied bevindt, dat houdt in dat trillingen dienen te worden beperkt. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door een voertuig een zo laag mogelijk gewicht te kunnen geven. Wat zijn hierbij de overwegingen in de ombouw van dieselvoertuigen naar batterij-elektrische voertuigen?

R: Je hebt twee soorten diesel aandrijvingen: Diesel-elektrisch en diesel-hydraulisch. Een diesel-hydraulische motor drijft rechtstreeks een hydraulische pomp aan die vervolgens de tandwielkasten in beweging zet. Diesel-elektrisch houdt in dat een dieselmotor stroom genereert voor een elektromotor die de aandrijving verleent. Er zijn twee typisch diesel-elektrisch. Bij bussen zie je voornamelijk een

primaire en een secundaire motor. Bepaalde soorten auto's hebben enkel een dieselmotor en de elektrische motor voor extra tractie bij het wegrijden.

Trillingen heeft wel iets met gewicht te maken. Ik zou denken aan een tram-achtig concept voor deze casus, want dit is veel lichter dan een trein. Trams hebben een aslast in de orde 10 kN.

I: Door de randvoorwaarden is er inderdaad sprake van een lichter voertuig, en dan eindigt men snel bij de lightrail. In dit specifieke geval verrijst de vraag 'Hoe licht zou je in theorie kunnen gaan?'

R: Een interessante mogelijkheid als het licht moet zijn is het inzetten van supercapacitors. Dit is een hele snelle manier van energie opslaan, helaas is de hoeveelheid energie beperkt. Op een supercapacitor zou je anderhalf tot vier kilometer kunnen rijden. Met een enorme energiepiek laad je het voertuig op de haltes op. Hoe lang is het traject?

I: Het af te leggen traject is 20 kilometer lang, heen en weer is dat 40 kilometer? Wordt de af te leggen afstand van laadpunt tot laadpunt een probleem?

R: Met batterijen zou dat moeten lukken, daarna zou hij moeten laden.

I: Hoe ziet de logistiek in elkaar? Zitten er bepaalde voor- en nadelen aan elke keer kort opladen of een enkele keer lang opladen?

R: Bij de bussen gebruiken wij elk beschikbaar moment om op te laden. Dit is voornamelijk handig met het opstellen van een dienstregeling. Stel het voertuig doet er 20 minuten over om een enkele keer over het traject te rijden, dan wacht hij 5 minuten en dan rijdt hij 20 minuten terug. In Nederland zijn wij gewend om een dienstregeling op basis van vaste tijden te maken een 'basis uurpatroon'. In dit fictieve voorbeeld zou je een kwartier overhouden, en in dat kwartier zou je hem deels kunnen bijladen.

I: Hoeveel ruimte neemt een laadinstallatie in beslag en hoe ziet zo iets eruit?

R: De laadkast zelf is vrij groot. Boven op het voertuig staat een pantograaf en deze takt in een 'hoed' en vanuit daaruit wordt hij geladen. Ter referentie kun je de laadsystemen van Heliox gebruiken <https://www.heliox-energy.com/products>.

I: Hoeveel ruimte neemt de laadinfrastructuur van een supercapacitor in beslag en hoe zichtbaar zijn deze?

R: Vergelijkbaar met de laadinstallaties zoals die net besproken zijn. Het levert vooral een lager gewicht op in vergelijking tot een batterij in het voertuig zelf. Het principe werkt hetzelfde als een batterij, alleen de hoeveelheid energie die kan worden opgeslagen is kleiner.

I: Hoe groot is de impact die het wisselen van snelheid heeft op de batterijduur? En zijn deze energieverliezen op te vangen?

R: Remenergie is goed te regenereren. Je hebt altijd verliezen, maar vergeleken met diesel en een bovenleiding kun je hier energie terugwinnen.

I: In een vergelijkbaar onderzoek in Engeland rijdt er een railvoertuig op de stations elektrisch en daar buiten op diesel.

R: Dat heet geofencing, in Scandinavië wordt dit toegepast bij bussen. Binnen de bebouwde kom rijden voertuigen zonder uitstoot, en buiten de bebouwde kom rijden ze wel met uitstoot.

I: Is dat afhankelijk van het feit dat er geen laadlocaties buiten de bebouwde kom zijn in die situatie?

R: De batterij kan in dit geval kleiner. Ook speelt mee dat men huiverig kan zijn dat de batterij te klein is voor de lange afstanden en het warm houden van het voertuig bij koude temperaturen en dus de voorkeur geven aan diesel. De actieradius van een batterij voertuig is kleiner dan dat van een dieselveertuig.

I: Wat is de levensduur van een accu of laadinstallatie?

R: Een laadinstallatie gaat minimaal 15 jaar mee, misschien zelfs 30. Een batterij wordt op 7,5 jaar geschat. Wanneer een batterij 20% van zijn capaciteit verliest wordt hij volgens de markt als ‘niet meer functioneel’ beschouwd. De batterij kan wel worden gebruikt voor andere doeleinden. Globaal gezien zou men kunnen zeggen dat Bussen een levensduur hebben van 15 jaar en een keer in die levensduur vindt er een batterijwissel plaats.

I: Wat zijn de mogelijke kosten die aan een laadinstallatie hangen en zijn er andere milieueffecten denkbaar?

R: Onderhoudskosten spelen een rol. Het produceert veel warmte door de grootte van de spoelen. Er dient vooral een plek te worden gevonden die dicht bij het laadpunt zelf is. Dat kan lastig in te passen zijn door de grootte van de laadkast. Vanuit de sociale veiligheid kan het onwenselijk zijn om laadkasten bij een (bus)station te hebben door beperking van de zichtlijnen. Een laadkast kan eventueel kleiner als er een langere tijd is om hem op te laden, bijvoorbeeld s’ nachts.

I: In hoeverre hangt de gewenste snelheid samen met het volume en gewicht van de accu?

R: Hoe zwaarder het voertuig is hoe meer vermogen je nodig hebt, met snelheid werkt dit hetzelfde. Wat vaak gezien wordt met spoor is dat er constant geaccelereerd wordt tot je op de gewenste snelheid bent en je door kunt rollen. Wat je wilt voorkomen is dat je energie kwijtraakt door remmen. Bij batterijtreinen zal dit ongetwijfeld minder een rol spelen omdat deze remenergie kunnen regenereren.

I: Kunt u een kleine indicatie geven hoe groot een accu is van een voertuig of hoe deze wordt ingepast?

R: In een normale situatie ligt het dak vol met dozen batterijpakketten. Hier heb je er vrij veel van nodig. Tegenwoordig zitten ze ook vaak in de vloer verwerkt. Batterijen bestaan uit losse componenten, dus veel vormen zijn mogelijk en ze zijn dus makkelijk in te passen.

I: Waterstof is ook een opkomende brandstofbron, steeds meer spoorvoertuigbouwbedrijven utiliseren waterstof. Ik vraag me af hoe dit zich vertaalt naar kleinere voertuigen.

R: Waterstof wordt vooral gebruikt als je range een punt van discussie is. De range in dit geval is vrij beperkt, dus ik zou waterstof niet in overweging nemen. Batterij-elektrisch lijkt mij de voorkeur hebben. Je dient enkel te zorgen voor een vaste plek waar de voertuigen zich op kunnen laden.

Een tram kost 2-2.5 miljoen, met batterij erbij 3 miljoen. Afhankelijk van de af te nemen hoeveelheid kan deze prijs hoger liggen. Een snel-lader kost rond de 250000 tot 300000 euro. Dat zijn de ordegrottes qua kosten.

I: Hoe verhoudt de tijd zich tussen rijtijd en oplaadtijd?

R: Dat is zeer afhankelijk van de omstandigheden. Naar mijn kennis zijn er batterijen die 5 tot 10 keer zo snel op laden als dat deze worden gebruikt in rijtijd. Dus als een voertuig een uur gereden heeft leidt dat ertoe dat deze 6 tot 10 minuten moet opladen. Zorg ervoor dat je laadtijd inpast in een mogelijke dienstregeling. Dit zou bijvoorbeeld kunnen tijdens het keren en in- en uitstappen.

Appendix F: Interview René van den Broeke

Interviewed: René van den Broeke, director of Museumstoomtram Hoorn-Medemblik (R)

Interviewer: **Wessel Roodenburg (I)**

Date: 12 October 2021

Time: 14:00

Location: Online

I: Met betrekking tot de missie en organisatie:

Zou u het (maatschappelijk) belang van de museumspoorlijn voor de omgeving kunnen belichten?

R: Dat is een grote vraag. We zijn het grootste rijdend museum van Nederland als Museumstoomtram Hoorn-Medemblik. Dat betekent dat we twee of drie hoofddoelen hebben: Een cultureel, een maatschappelijk en toeristisch belang. Cultureel gezien hebben wij een collectie materieel wat honderd jaar geleden in ons land heeft gefunctioneerd. Dit is van culturele waarde en dit wordt vergroot doordat het niet statisch is maar ook functioneel en rijdend. Op toeristisch gebied trekken wij 100.000 bezoekers per jaar naar de regio toe. De maatschappelijke functie die wij bekleden heeft te maken met onze 300 vrijwilligers die tijd besteden aan ons museum. We doen ook aan leerwerkprojecten voor studenten.

I: Zou u de taken en doel van uw organisatie met betrekking tot het behoud van het museale karakter kunnen toelichten?

R: De missie van het museum is om een collectie te verzamelen die in het verleden heeft gefunctioneerd bij regionale spoor- en tramverbindingen in Nederland. En dit materiaal te restaureren waar het oorspronkelijk voor gemaakt is. Dit zijn locomotieven, stations, seinen en ambachten. Het hele proces van het spoorbedrijf willen we laten zien.

I: Wie is er eigenaar van de spoorlijn?

R: De huidige eigenaar is de Stichting Beheer Spoorlijn. Het gebied wat hiervan in eigendom is begint bij de NS-aansluiting bij station Hoorn en eindigt bij het station van Medemblik. Dit traject is 18,5 kilometer lang. Er ligt 20 kilometer spoor maar de laatste 2 kilometer is in medegebruik met ProRail.

I: Valt de spoorlijn onder het besluit bijzondere spoorwegen?

R: Jazeker.

I: Het besluit bijzondere spoorwegen beschrijft twee rollen:

- die van een spoorwegbeheerder, degene verantwoordelijk voor het operationeel beschikbaar stellen van de spoorlijn;
- die van de vervoerder, degene die gebruik maakt van een bijzondere spoorweg en daartoe over tractie beschikt.

Hoe zijn deze rollen uitgesplitst in de huidige organisatie en dienstregeling?

R: De Stichting Beheer Spoorlijn vervult de rol van spoorwegbeheerder, en is verantwoordelijk voor het onderhoud en inkomsten in de vorm van overwegelden. De exploitatie is in handen van de Exploitatiemaatschappij Museumstoomtram, een B.V. . De B.V. betaalt huur voor het gebruik van de spoorlijn. Deze huur bedraagt 100.000 euro, tegenwoordig iets meer dan dat. Er is ook nog een stichting, verantwoordelijk voor de donateurs, de collectie rijtuigen en stations, de Collectiebeheer Stichting.

I: Dienen de bestuurders van de stoomtrams een opleiding of diploma af te ronden of wordt hun bekwaamheid op een andere manier getoetst?

R: Deze worden niet specifiek op opleiding gekozen.

I: Met betrekking tot de doorsnede:

Wordt er een bepaald profiel van vrije ruimte gehanteerd? Wat zijn de afmetingen hiervan?

R: Ja, dat is van belang bij iedere spoorlijn. Het profiel van vrije ruimte is gelijk aan dat van de NS. 3 bij 3 meter is het profiel van een trein. Wij rijden met trams, dus in de praktijk is dit profiel kleiner dan dat van een trein. Dit geldt echter niet voor alles, wij bezitten ook spoorwegmaterieel en zwaarder uitgevoerd materieel gelijk aan dat van de NS.

I: Wat is de hoogte van een huidig perron? Hoe ver is de rand van een perron verwijderd van het hart van de spoorstaaf?

R: De perronhoogte bedraagt ongeveer een halve meter. De perrons liggen ergens tussen een halve meter en een meter uit het hart van de spoorstaaf.

I: Met betrekking tot onderhoud:

Wie of welke partij voert in de huidige situatie het onderhoud aan de spoorinfrastructuur uit?

R: Stichting Beheer Spoorlijn is verantwoordelijk voor het onderhoud, deze besteden het uit aan het personeel van de exploitatiemaatschappij. Bij bijzondere grote projecten worden er derde partijen bij betrokken. Dit is op de schaal van een overweginstallatie of grote spoorvernieuwingsprojecten. Recent kregen wij een gift van ProRail in de vorm van spoorstaven uit Nijmegen en wij werken met partijen als VolkerRail als het gaat om specialistische werk aan spoorvernieuwingsprojecten. Er is 20 kilometer spoor en per jaar voeren we een paar grote onderhoudsprojecten uit. Een van de bruggen en een halve kilometer spoorvernieuwing. Dus elke 40 jaar is de gehele spoorlijn vernieuwd.

I: Zou u iets kunnen vertellen over de staat van het spoor? Wordt dit gekeurd en door wie?

R: Wij zijn hier in principe zelf verantwoordelijk voor. Iedere maand wordt er een schouw uitgevoerd langs het spoor, waarin de staat van het spoor wordt bekeken. Onze commissie van advies, adviseurs op het gebied van spoorveiligheid, zijn aangewezen namens de raad van toezicht om toezicht te houden op de veiligheid van het spoor. En die hebben de onderhoudscyclus ook opgesteld. De inspectie leefomgeving en transport (ILT) kan een onderzoek uitvoeren naar het feit of dit goed is gegaan. Dit gebeurt normaliter ook op het moment dat het fout gaat. Een belangrijk ding wat moet worden opgemerkt: het spoor ligt er vrij goed bij maar we liggen in een vrij begroeide omgeving hier in Noord-Holland. Een spoorlijn in een moerasland. Daarnaast is de snelheid ook laag, met maximaal 30 kilometer per uur. De aanslag op de infrastructuur is niet wezenlijk groot.

I: Met betrekking tot dienstregeling:

Hoe vaak wordt er op een gemiddelde dag met het museummaterieel gereden?

R: Op een reguliere dag is er een retourrit. In de vakantieperiodes is dat twee per dag. Een paar dagen in de vakantieperiodes is dit 3 tot 4 keer per dag.

I: Wat is de maximale hoeveelheid diensten op een dag per jaar? Hoe vaak vindt deze intensiteit plaats?

R: In het zomerseizoen 4 trams per dag, dat is onze standaard maximale dienst, vijftien maal per jaar ongeveer. We hebben wel eens een Bello festival gehad en toen reed er elk uur een tram, dat kon net.

I: Dat lijkt mij een logistiek vraagstuk, ook met oog op het passeren.

R: Het vraagt wat behendigheid, maar er zijn stations waar dat kan.

I: Wie draagt er tijdens de dienstregeling verantwoordelijkheid over de veiligheid van de stoomtram?

R: Dat is de treindienstleider. Deze houdt overzicht over de dienstregeling van de spoorlijn. Hij houdt contact met de chef van de trein en de machinist.

I: Hoe lang doet een voertuig op een gemiddelde dag over de rit Hoorn-Medemblik? Wat is de gemiddelde snelheid? Waar stopt deze?

R: De gemiddelde snelheid is 30 kilometer per uur. We stoppen op Wognum, Twisk en Opperdoes, de gerestaureerde stations. Op Wognum staan we wat langer stil zodat men rond kan kijken. De rijtijd bedraagt ongeveer een uur. Je zou er sneller over kunnen doen.

I: Hoe lang zijn de huidige trams?

R: Dat wisselt maar in reguliere samenstelling is er een locomotief met 10 korte rijtuigen. Ongeveer 130 tot 150 meter.

I: Met betrekking tot het rollend materieel en opslag:

Is er genoeg opslagruimte voor al het huidig rollend materieel? Zijn er op dit moment opslagsporen ‘vrij’?

R: Nee, het liefst zou je dat al het rollend materieel binnen kan staan. Een deel van de nog te restaureren collectie staat in een veel te dure loods. Vinden van een goede depotruimte heeft op dit moment onze aandacht.

I: In hoeverre en waarvoor worden de uitloopsporen bij het station van Medemblik gebruikt? Worden deze bijvoorbeeld s’ nachts gebruikt voor opslag?

R: Nee, er zijn geen sporen die voor opslag worden gebruikt. Wel worden deze sporen gebruikt voor het rangeren van de trams.

I: Over seinen en wissels:

Wordt er gebruik gemaakt van seinen op het huidige traject en hoe werkt de huidige beveiliging?

R: Basisbeveiliging is een ‘telefonisch estafette systeem’. De treindienstleider heeft een grafiek voor zich met daarop een zesdelig bloksysteem. Elk blok bevat op zijn hoogst één trein, er wordt telefonisch contact gehouden over waar een trein zich bevindt. De treindienstleider reserveert een blok voor een trein. Op de stations zijn er passeermogelijkheden aanwezig. Op het moment dat een tram een station bereikt heeft, heeft hij het blok verlaten en kan deze worden vrijgegeven aan een andere tram. Daar bovenop worden bij station Hoorn en Wognum klassieke seinstelsels toegepast wat vanuit de stations kan worden bediend. Dit zijn klassieke armseinen, maar ondergeschikt aan die grafiek die ik net beschreef.

I: Hoe werkt de communicatie tussen de treindienstleider en de tramcabine?

R: Dit gaat telefonisch. De treindienstleider geeft instructies aan tot waar de trams mogen rijden. De wissels worden ter plaatse bedient. Wanneer twee treinen elkaar tegen komen op bijvoorbeeld Wognum, op twee verschillende sporen, kan de treindienstleider een spoor vrijgeven en dit doorcommuniceren naar de trams.

I: Waar bevindt de treindienstleider zich?

R: Op het station in Hoorn, in het seinhuis. De plek die daarvoor bedoeld is.

I: Zijn er noodmaatregelen ter plaatse wanneer een sein wordt genegeerd? Of is het puur rijden op zicht op dat vlak?

R: Het is rijden op zicht. Het ergste wat er kan gebeuren is dat je elkaar tegenkomt. Achteraf kan er een probleem zijn om op te lossen want dan heeft iemand zich niet aan de regels gehouden.

I: De huidige wisselbediening werkt met de hand, zou u het proces van een wisselomzetting kunnen toelichten?

R: Bij Wognum en Hoorn werkt het met een trekdradenprincipe waarbij een mechanische constructie wordt bediend. De hendels zetten een kettinginstallatie zodanig in werking dat de wissel van plaats verschuift. Deze valt over een nok heen waardoor hij in de juiste stand valt. Daarna vergrendel je hem zodat je zeker weet dat hij niet meer verschuift. De seininstallatie werkt dusdanig dat een sein alleen bediend kan worden als de wissel in de juiste stand ligt.

I: Met betrekking op de toekomst:

Wat zijn op dit moment lopende projecten met betrekking tot de railinfrastructuur van de lijn?

R: Op dit moment wordt de spoorvernieuwing voorbereid in de omgeving van Wognum deze winter. De winter daarna staat de beweegbare brug over de sluis bij Medemblik op de planning.

I: Is deze brug ook eigendom van de beheerstichting?

R: Ja.

I: In het geval dat het spoor gedeeld zou worden met openbaar passagiersvervoer, wat zijn enkele harde eisen en aandachtspunten in de ogen van de Museumstoomtram Hoorn-Medemblik?

R: Dit is een hele hypothetische vraag. Het kan niet, want het is geen landelijke infrastructuur. En dat moet vooral zo blijven, want het is als museumlijn ingericht met alles erop en eraan. Er zijn niet enkel historische gebouwen, perrons en historische infrastructuur die je kunt laten zien. Bepaalde overwegen worden met een minimumsnelheid aangereden. Wanneer met een andere vorm railvervoer wordt gereden dienen er allerlei modernisering plaats te vinden. Dit gaat altijd ten koste van het monumentale karakter van de spoorlijn. Indien dit gebeurt gaan wij daar dwars voor liggen.

I: Een vergelijkbare situatie waarin het spoor gedeeld wordt vindt op dit moment plaats met de STAR in Groningen. Dit is ook een heel complexe puzzel.

R: Daar heeft men de keuze gemaakt zich minder te hechten aan het museale karakter van de spoorbaan. Dat is anders dan onze doelstelling. De spoorbaan zelf is in onze ogen ook een belangrijk onderdeel van de collectie. Daar willen wij ook aandacht voor vragen in die zin.

I: Modernisering gaat dus ten koste van het monumentaal karakter?

R: Ja.

I: Hoe breed zijn de huidige trams?

R: 2,80 meter, maar dat zou ook 3 meter kunnen zijn.

Appendix G: Results on passenger density

Table G.1: Light rail vehicle passenger densities

	vehicle [name]	passengers per m [amount]	width [m]	passengers per m ² [amount]
0	Siemens Stadtbahn B/Citysprinter	5.69	2.65	2.147170
1	BEM 550 (SBB) electric	7.16	2.67	2.681648
2	Bombardier 8NGTW (Kassel)	6.42	2.40	2.675000
3	Bombardier K5000 (Keulen)	6.23	2.65	2.350943
4	Bombardier Tram-Train (Saarbrücken)	6.47	2.65	2.441509
5	Siemens GT8-100D/2S-M (Karlsruhe)	6.10	2.65	2.301887
6	Siemens Avanto (Parijs)	6.54	2.65	2.467925
7	Siemens SD600A	7.30	2.65	2.754717
8	Alstom Regio Citadis (Kassel)	6.25	2.65	2.358491
9	Sneltram Utrecht-Nieuwegein (SIG/ABB)	6.41	2.65	2.418868

the resulting passenger density is 2.4598157374037175 passengers per m²
the resulting passengers per meter is 7.37944721221115

Based on data provided by the WAT catalogue (CVOV, 2003)