

Möglichkeiten zur CO₂ - Reduzierung durch intersektorale Energieversorgung von Elektrobussen am Beispiel der Stadt Esslingen

Mathias Oberhauser Alexander Müller Martin Neuburger Bekir Stroil
Hochschule Esslingen

In Zusammenarbeit mit den Städtischen Verkehrsbetrieben Esslingen



trolley:motion Solingen

22.11.2018

Inhalt

1. Das Klimaschutzkonzept der Stadt Esslingen
2. Klimaneutrale E-Mobilität im ÖPNV
3. Intersektorale Energieverknüpfung
4. Systemmodell für eine OMC Infrastruktur
5. Ausblick: Kopplungsmöglichkeiten

Esslingen am Neckar

Teil des Großraums Stuttgart und Mittlerer Neckar

Wohnort für 92.000 Einwohner

Arbeitsort für ca. 50.000 Menschen in Industrie, Dienstleistung und Handel

Lernort für 6.500 Studierende der Hochschule Esslingen und vieler Schüler

Ziel zahlreicher Touristen aus dem In- und Ausland



1. Integriertes Klimaschutzkonzept Esslingen

Die Stadt Esslingen hat sich verpflichtet, ihre CO₂-Emissionen bis zum Jahre 2020 um 25% bezogen auf das Jahr 2007 zu reduzieren.

Schwerpunkt der Klimaschutzmaßnahmen im Verkehr ist die Verhinderung einer zukünftigen Zunahme des Individualverkehrs und Verlagerung auf den Umweltverbund (Fuß, Rad, ÖPNV).

Die Stadt Esslingen hat beschlossen innerhalb von fünf Jahren alle Fahrzeuge ihrer Verkehrsbetriebe zu elektrifizieren.

In diesem Kontext wurde auch das Förderprojekt „*Klimaneutrales Stadtquartier: Neue Weststadt Esslingen*“ gestartet. Projektlaufzeit bis Ende 2022.

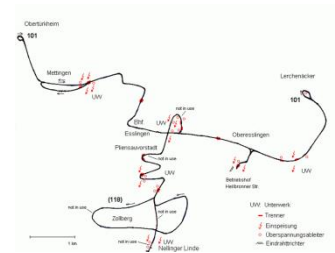
Es wird über erste Ergebnisse des Teilprojekts TP 1.3.3 „*Emissionsfreie Mobilität im ÖPNV*“ berichtet.

Elektrobusse haben lange Tradition in Esslingen

Die SVE fahren bereits heute ca. 20% ihrer Verkehrsleistung elektrisch



1944 wurde die erste Linie über 7,2 km entlang des Neckars von Stuttgart Obertürkheim nach Oberesslingen eröffnet.



Danach erfolgte die Erweiterung des Netzes in Richtung Zollberg



1975 begannen erste Versuche mit Diesel-Elektro-Hybriden.



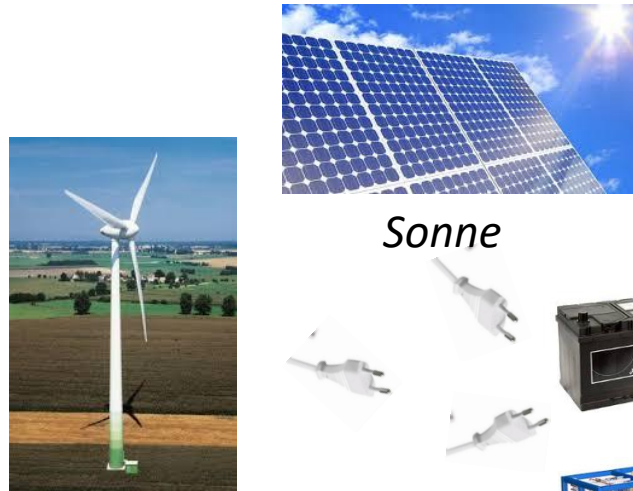
Nach mehreren Generationen dieser Fahrzeuge im Linieneinsatz...



wurden 2016 auf der Linie 113 vier ElektroHybridbusse mit *On Motion Charging* eingeführt

Klimaneutrale E Mobilität im ÖPNV

Systematischer Ansatz erforderlich



Sonne

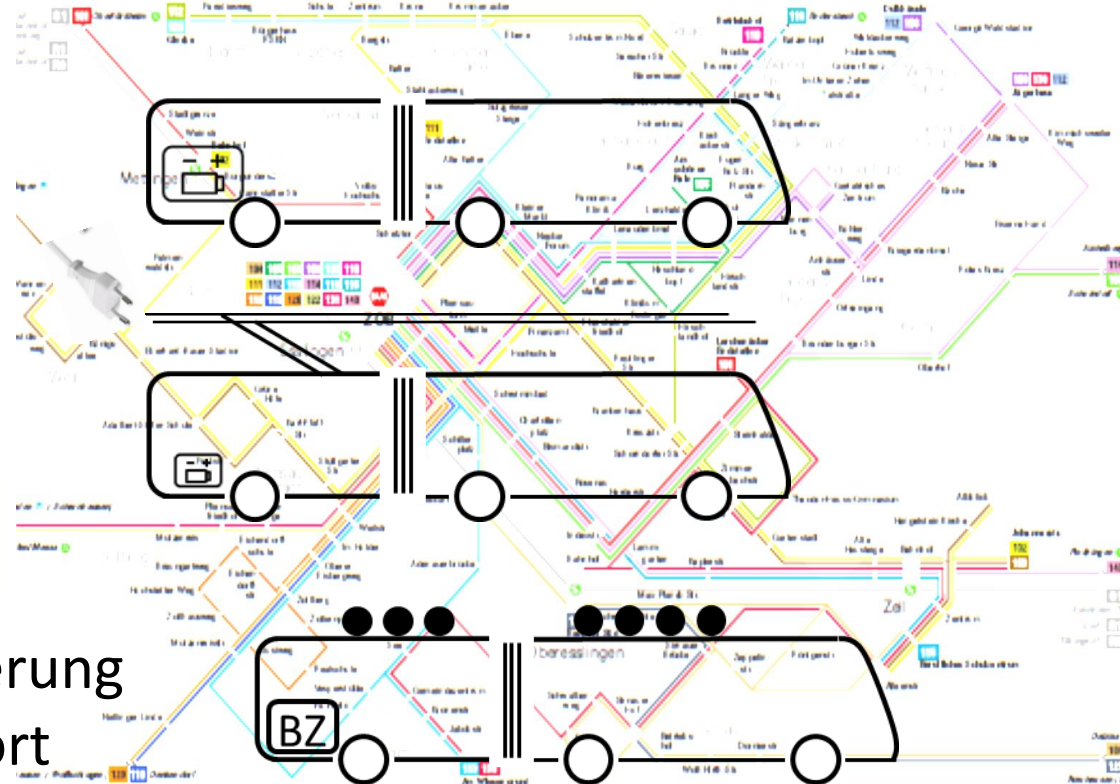
Wind



Gas

Energieerzeugung

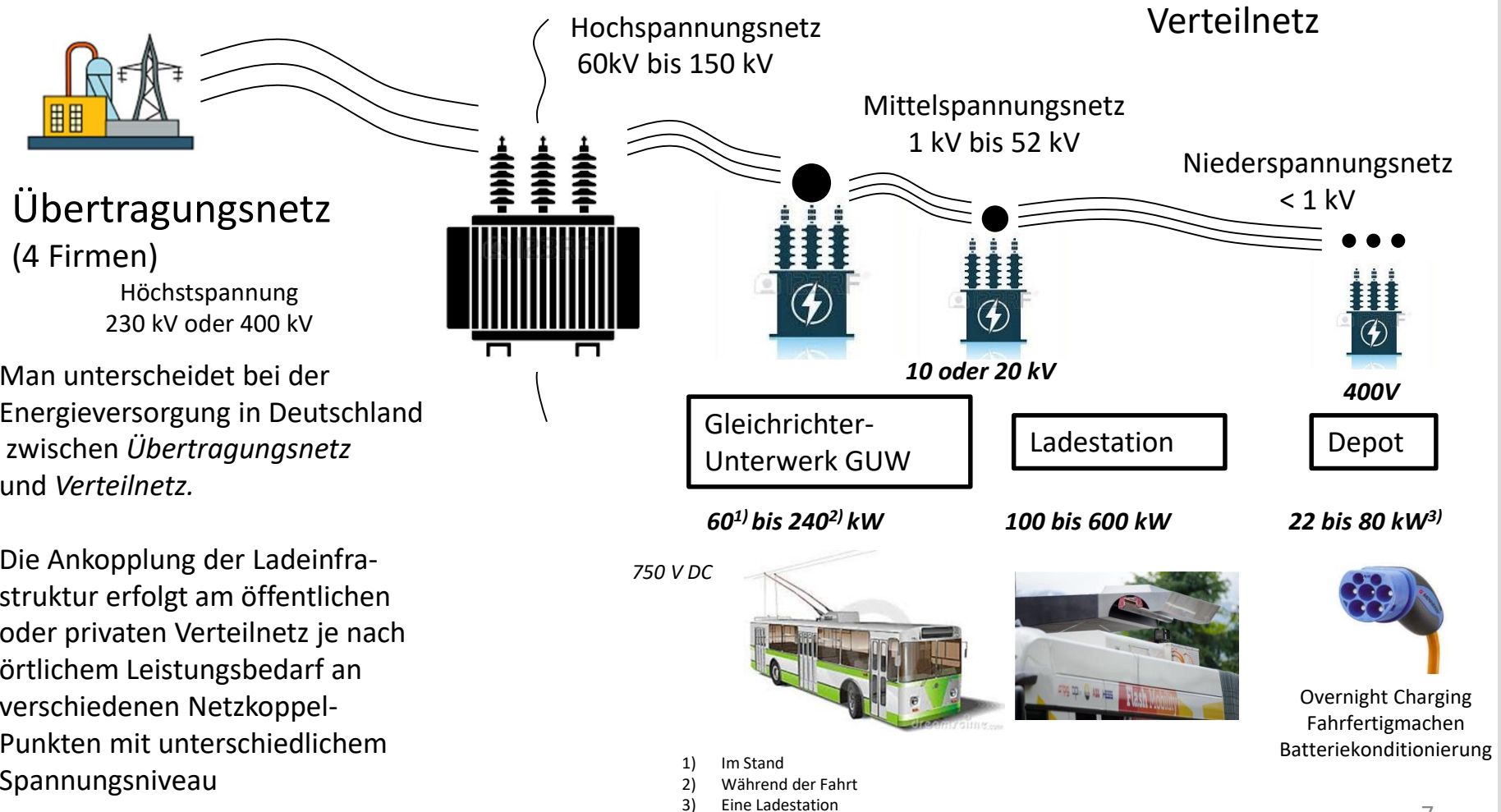
Speicherung
Transport



Fahrzeugtechnik + Linienführung

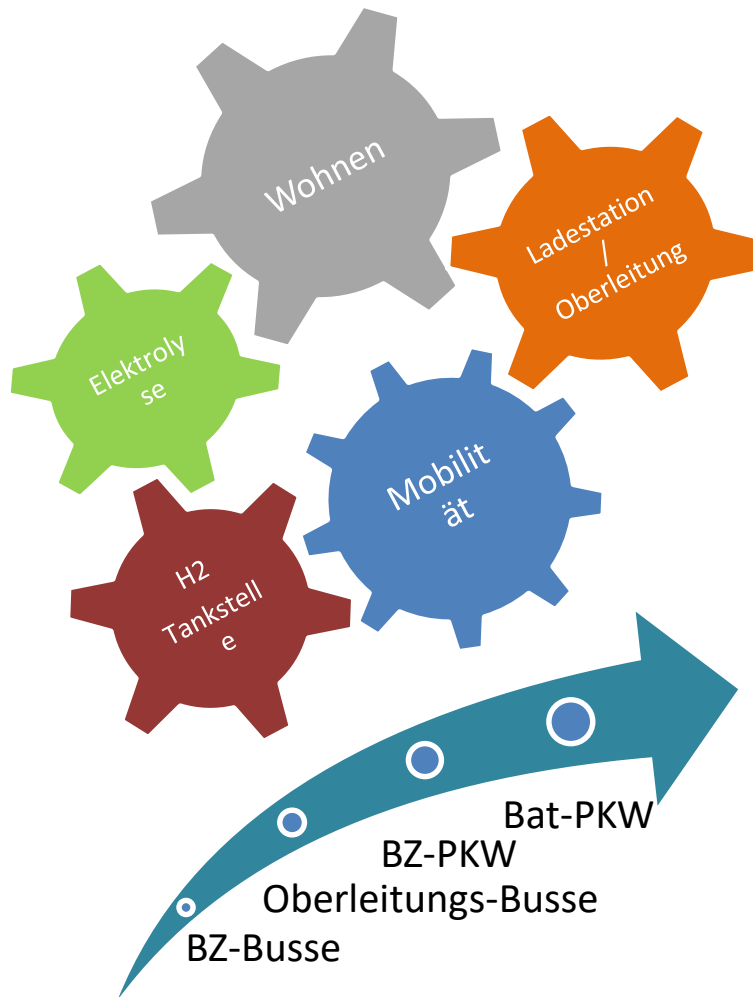
Woher kommt der Strom für die Elektrobusse ?

Klassische elektrische Versorgung



3. Intersektorale Energieverknüpfung

Verknüpfung Wohnen und Mobilität:



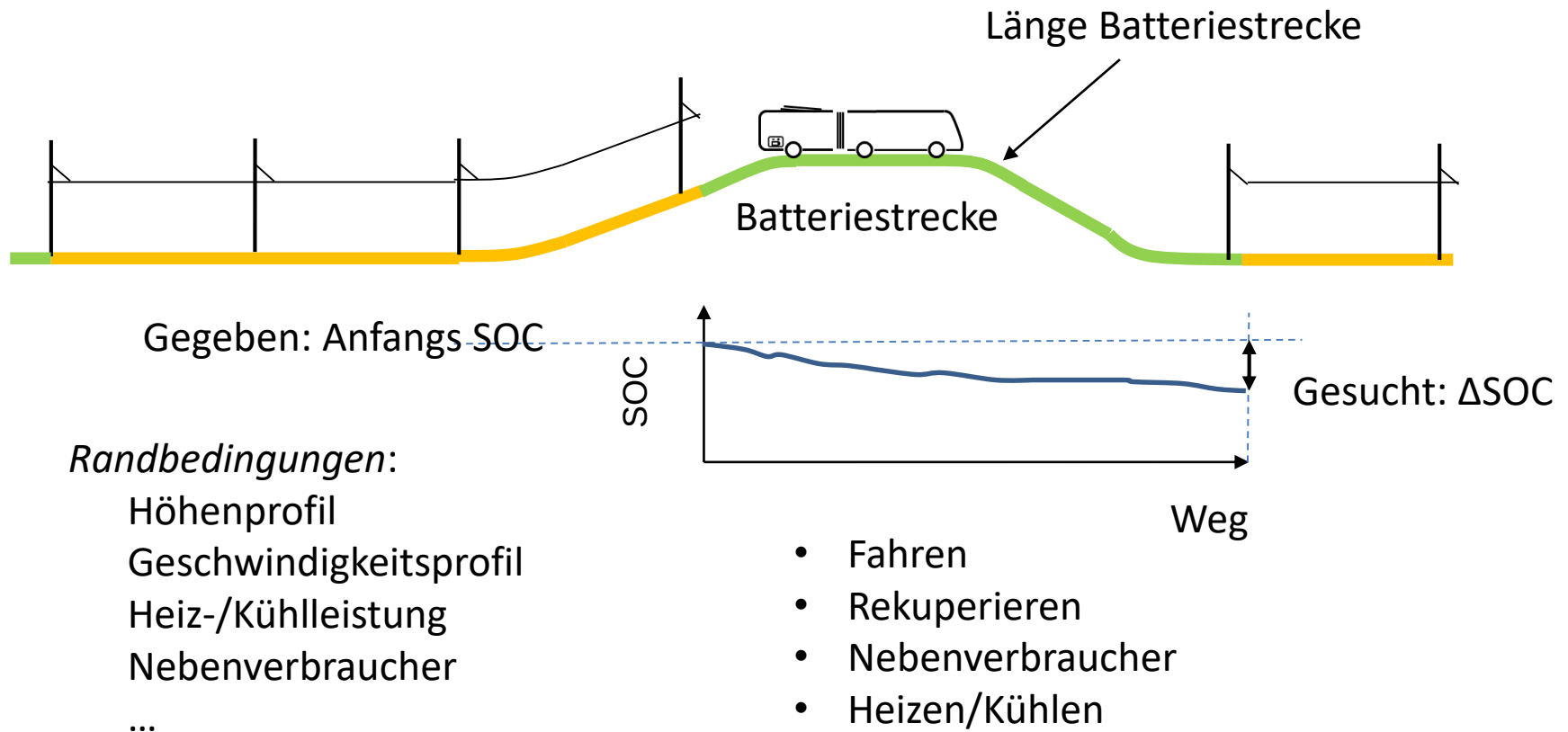
„Primäres Ziel der Sektorkopplung ist die Senkung der Treibhausgasemissionen durch Substitution fossiler Energieträger, weshalb bei den Energieträgern primär die Erneuerbaren im Fokus stehen.“

Sekundäre Ziele (Co-Benefits) können in der Nutzung von Freiheitsgraden der Optimierung innerhalb eines zunehmend und perspektivisch vollständig dekarbonisierten Energie- und Wirtschaftssystems sowie durch einen Beitrag zur Flexibilisierung und Energieeffizienzsteigerung entstehen.“

Frauenhofer ISI Working Paper Sustainability and Innovation No. S 01/2018
Siehe hierzu auch Wietschel et al. 2018.

4. Systemmodell für eine OMC Infrastruktur

Schritt 1: Auslegung der Batteriestrecken

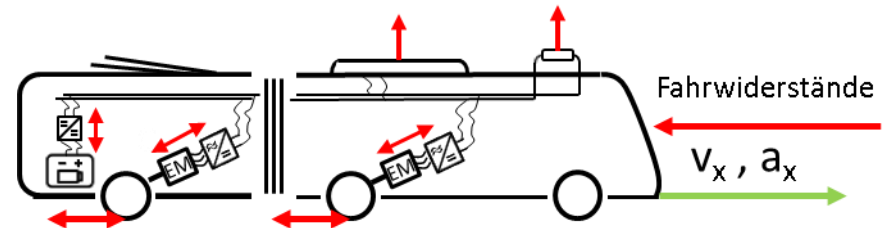


Methodik Schritt 1

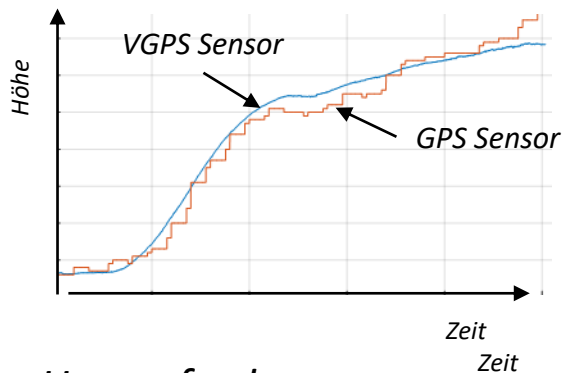
Entwurf eines einfach zu kalibrierenden physikalischen Fahrzeugmodells



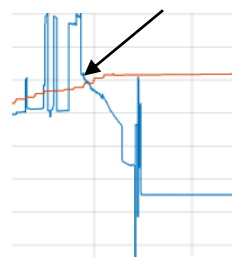
Messung Originalfahrzeug (Bus)



$$SOC(j) = f(v_j, v_{j-1}, h_j, h_{j-1}, W_{Rekup}, W_{Heiz}, Fzg.param)$$

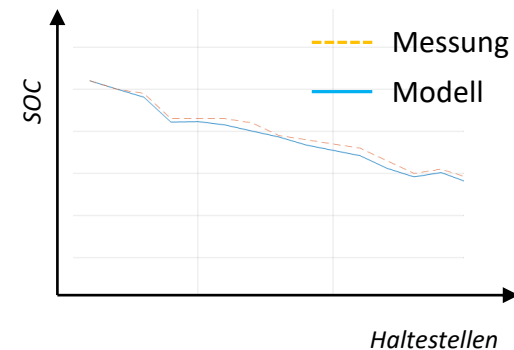


Störanfälligkeit
VGPS Sensor im
Innerstädtischen Bereich



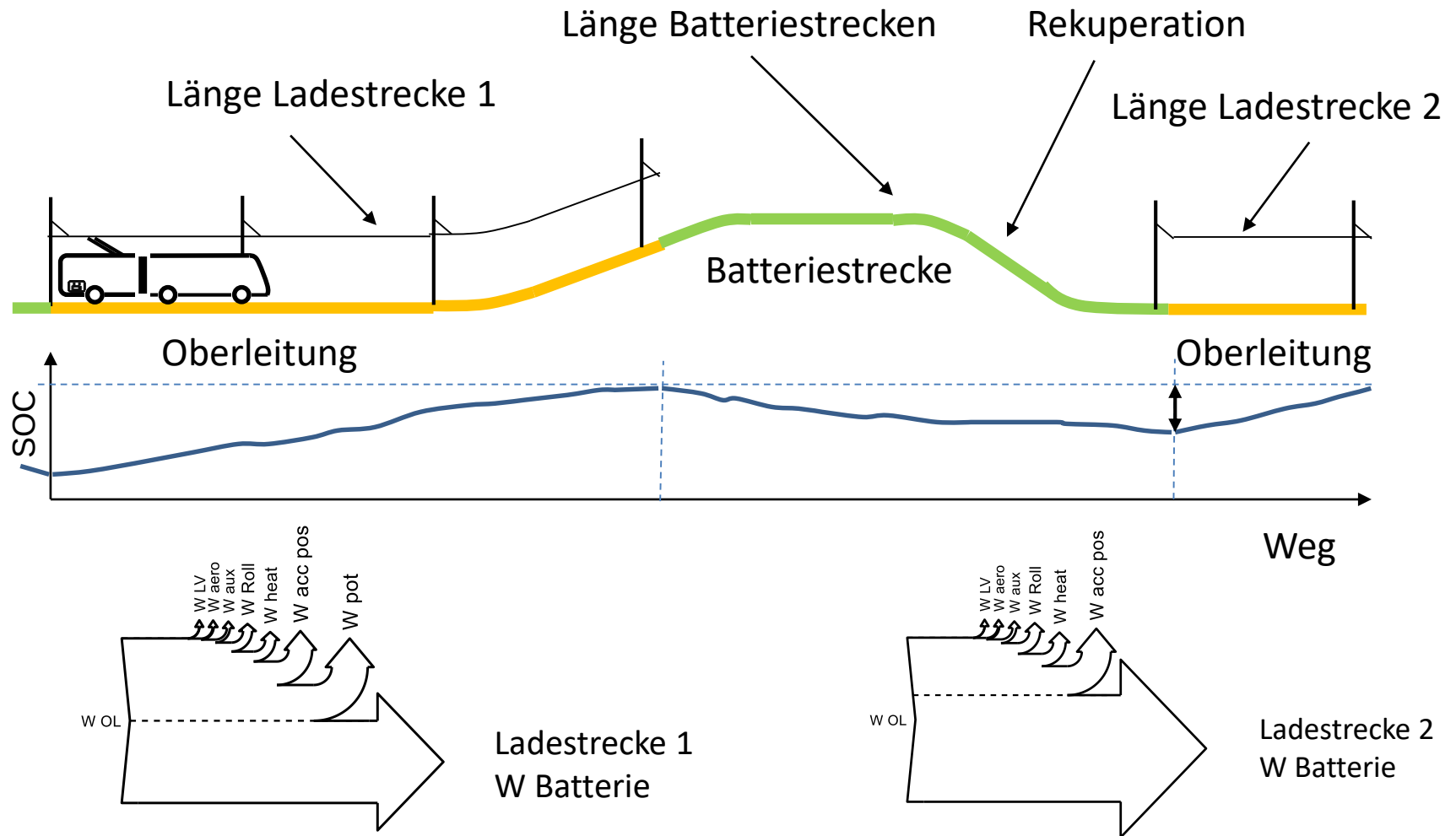
Herausforderung:
Robustheit gegenüber verrauschten Messsignalen
Insbesondere Höhenverlauf

Kalibrierung



4. Systemmodell für eine OMC Infrastruktur

Schritt 2: Auslegung der Ladestrecken



Methodik Schritt 2

Erweiterung des Fahrzeugmodells um Laden aus Oberleitung

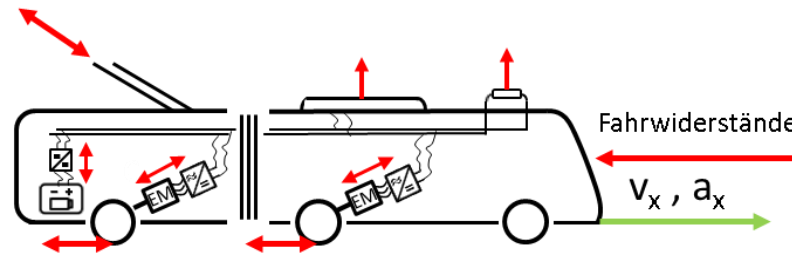


Abbildung einer vereinfachten Steuerlogik:
z.B.

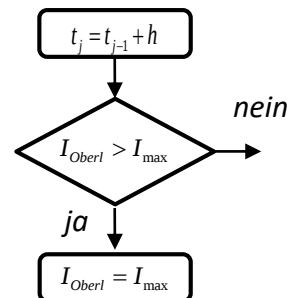
$$SOC(j) = f(v_j, v_{j-1}, h_j, h_{j-1}, W_{Lade}, W_{Rekup}, W_{Heiz}, Fzg.param)$$

Begrenzungen

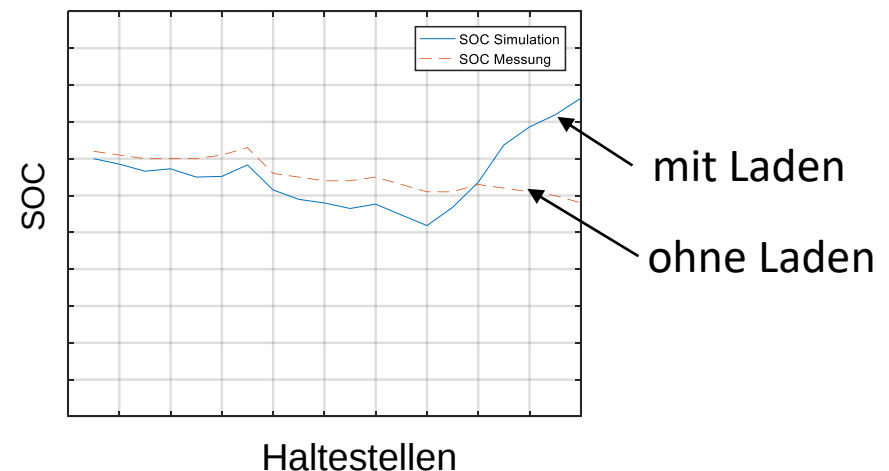
- max. Ladeleistung
 - max. Oberleitungsstrom
- Vorrang Fahren vor Laden

Ladeleistung = $f(SOC)$

...

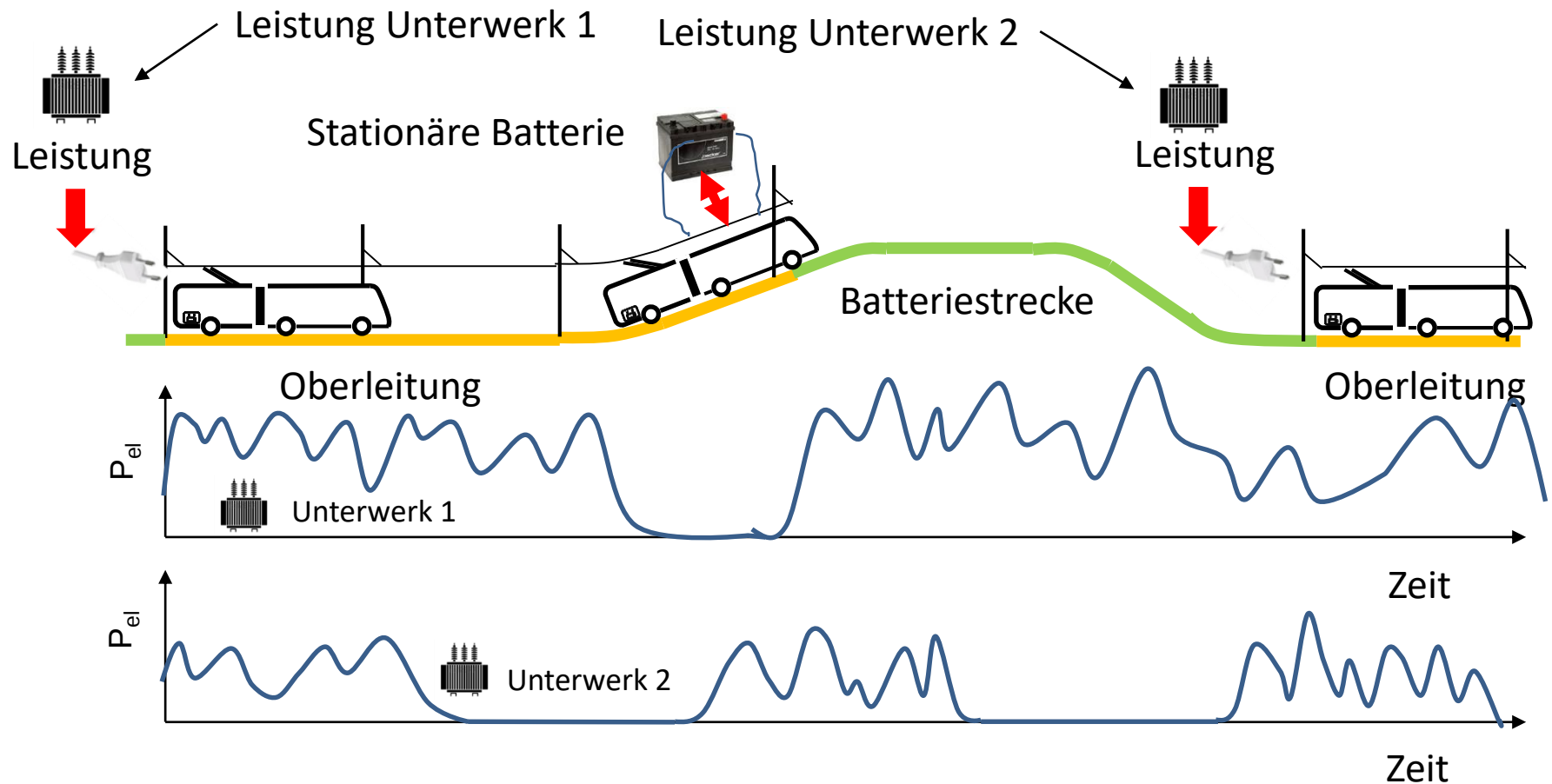


Simulationsbeispiel:



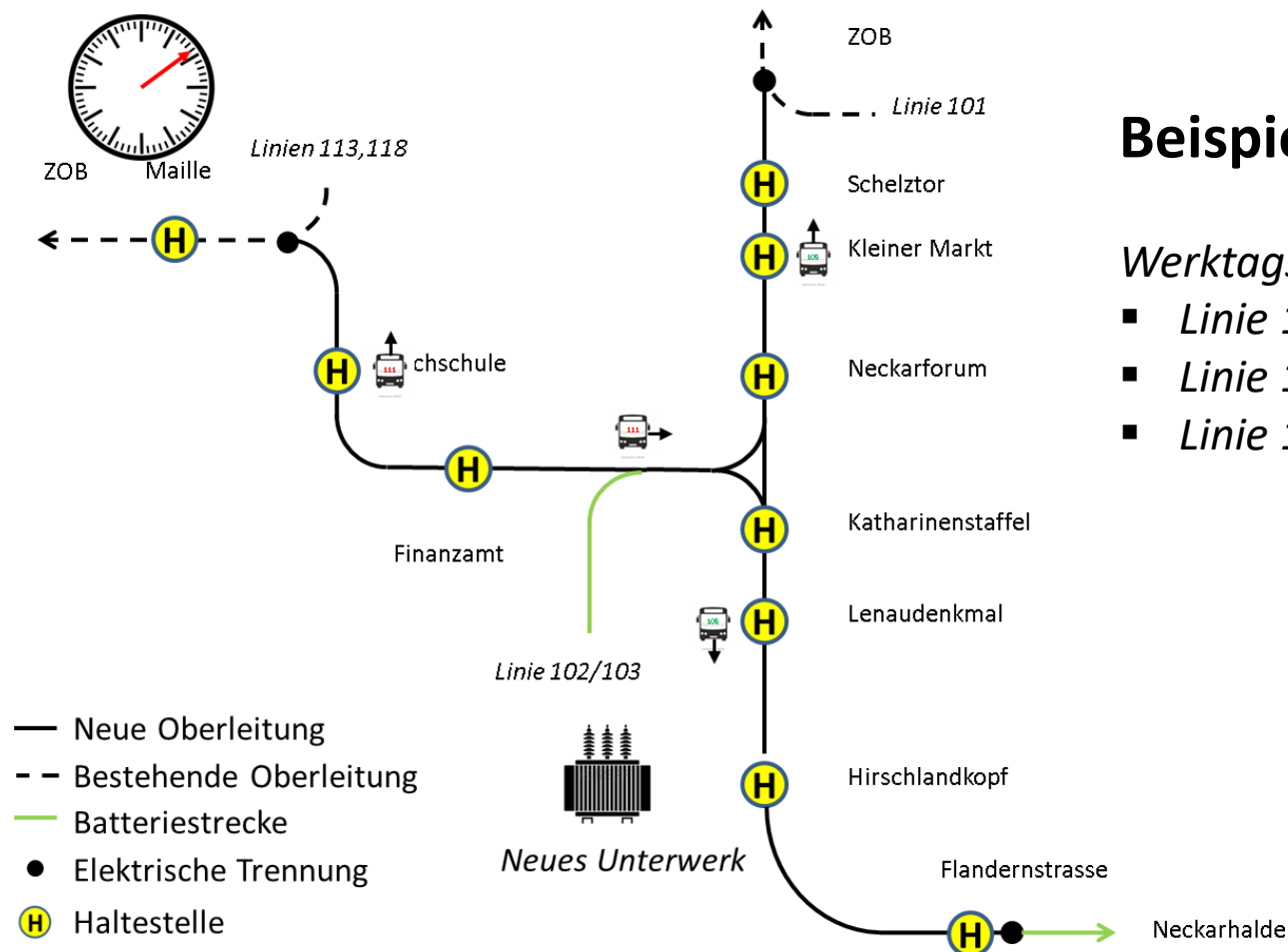
4. Systemmodell für eine OMC Infrastruktur

Schritt 3: Auslegung der Leistung der Unterwerke



Methodik Schritt 3 Auslegung eines UW

Analyse „worst case“ Fahrplanperiode

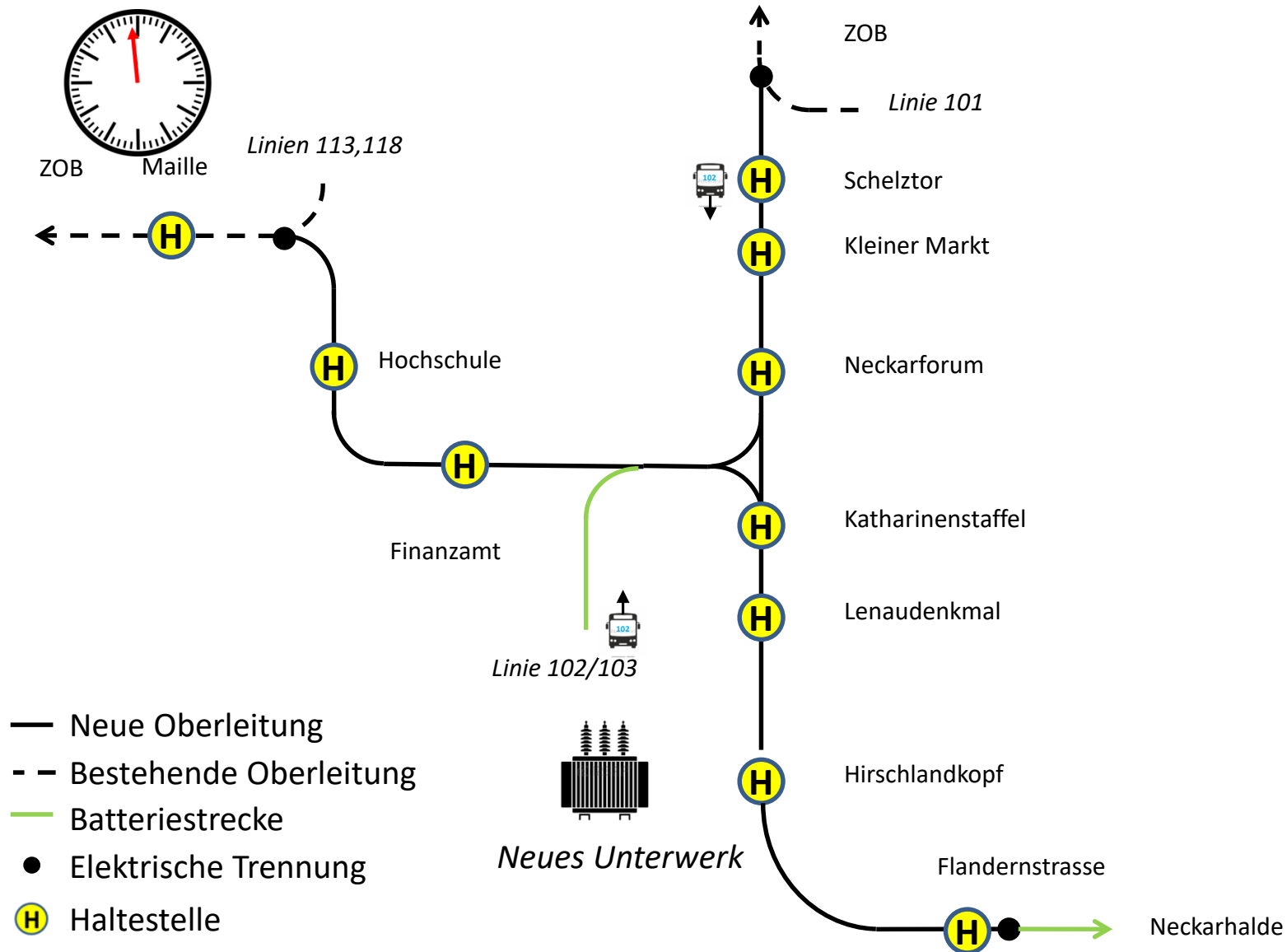


Beispiel:

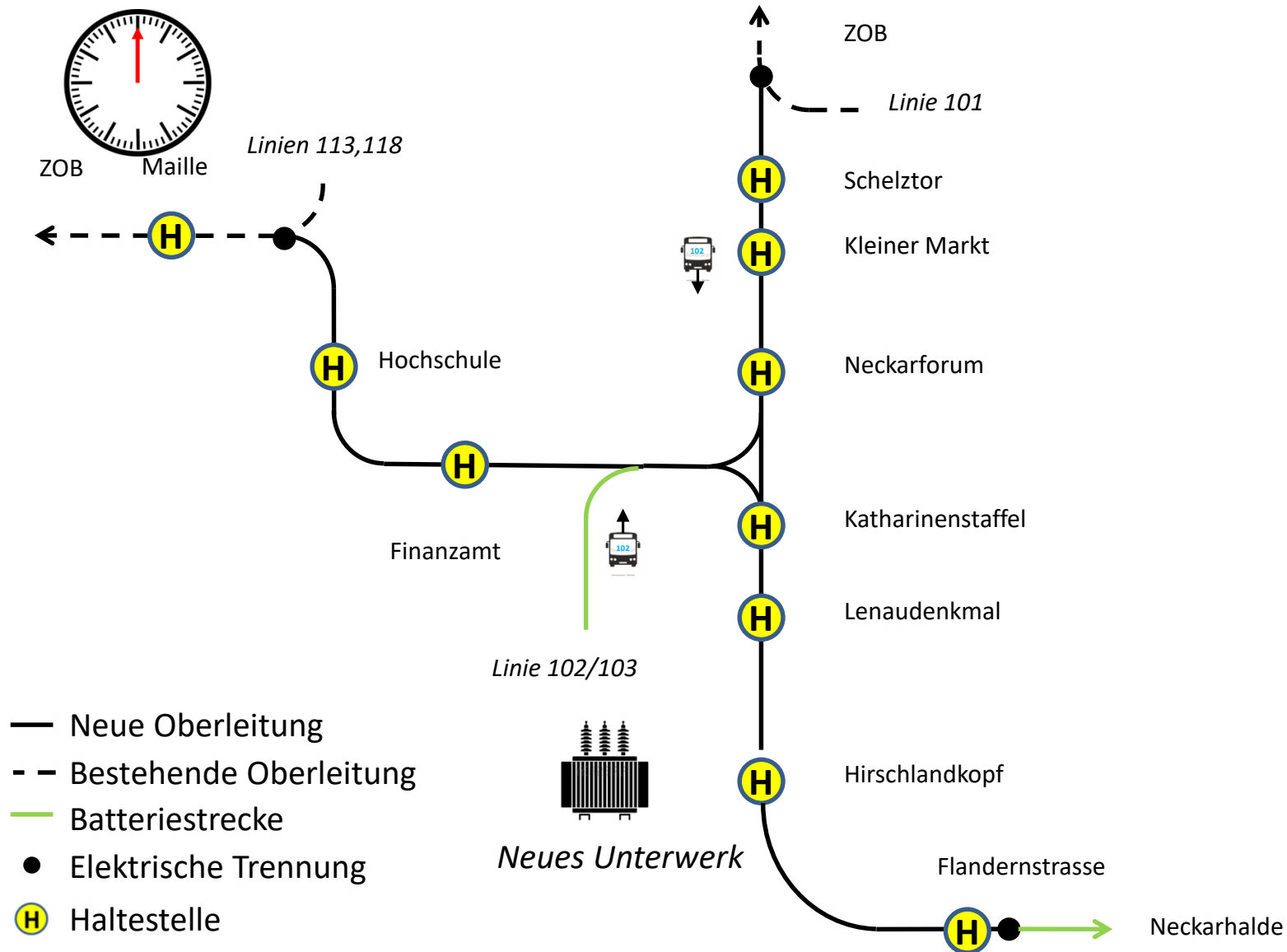
Werktags 11:59 – 12:12

- Linie 103 15 min Takt
- Linie 111 15 min Takt
- Linie 105 30 min Takt

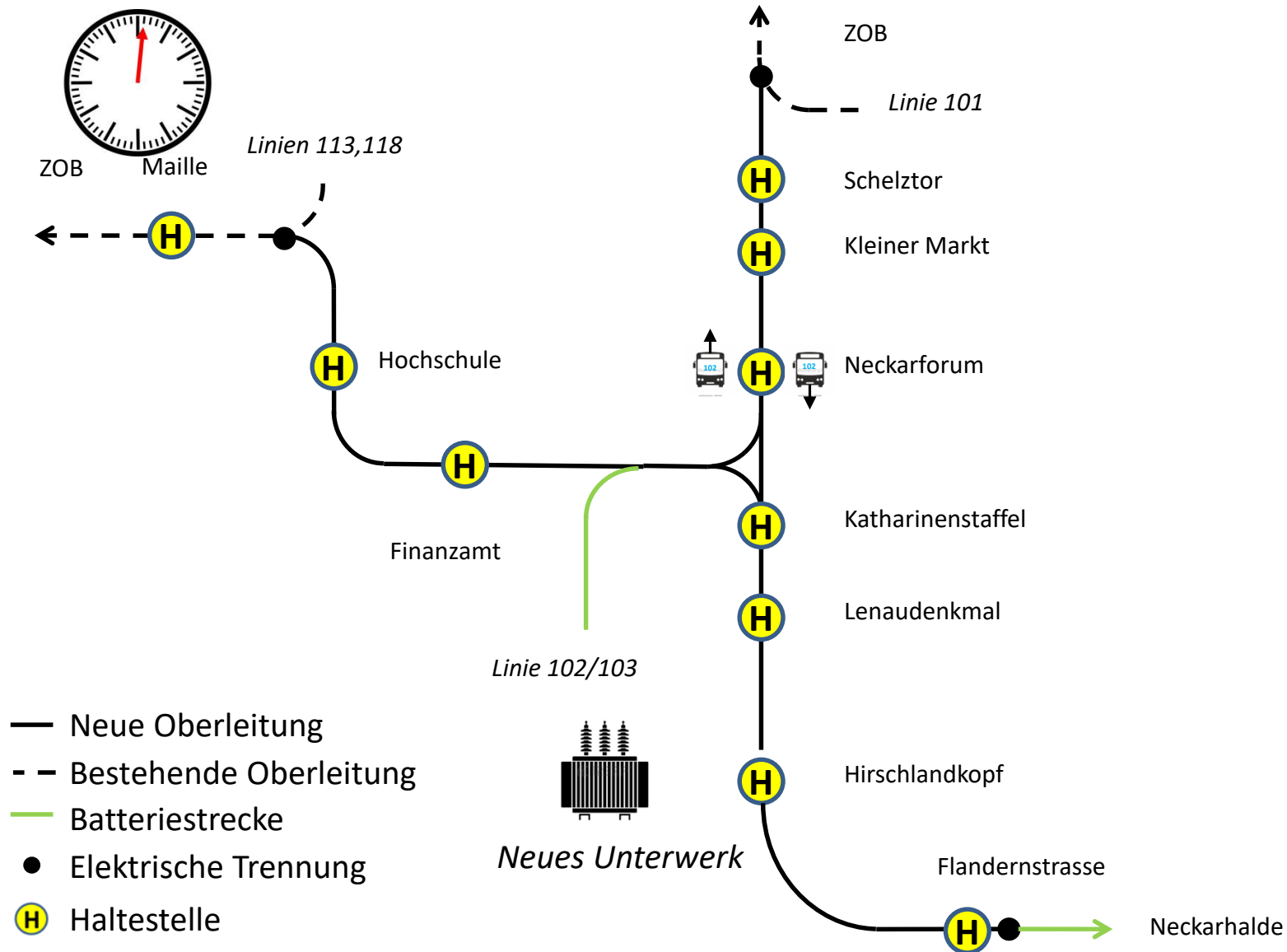
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



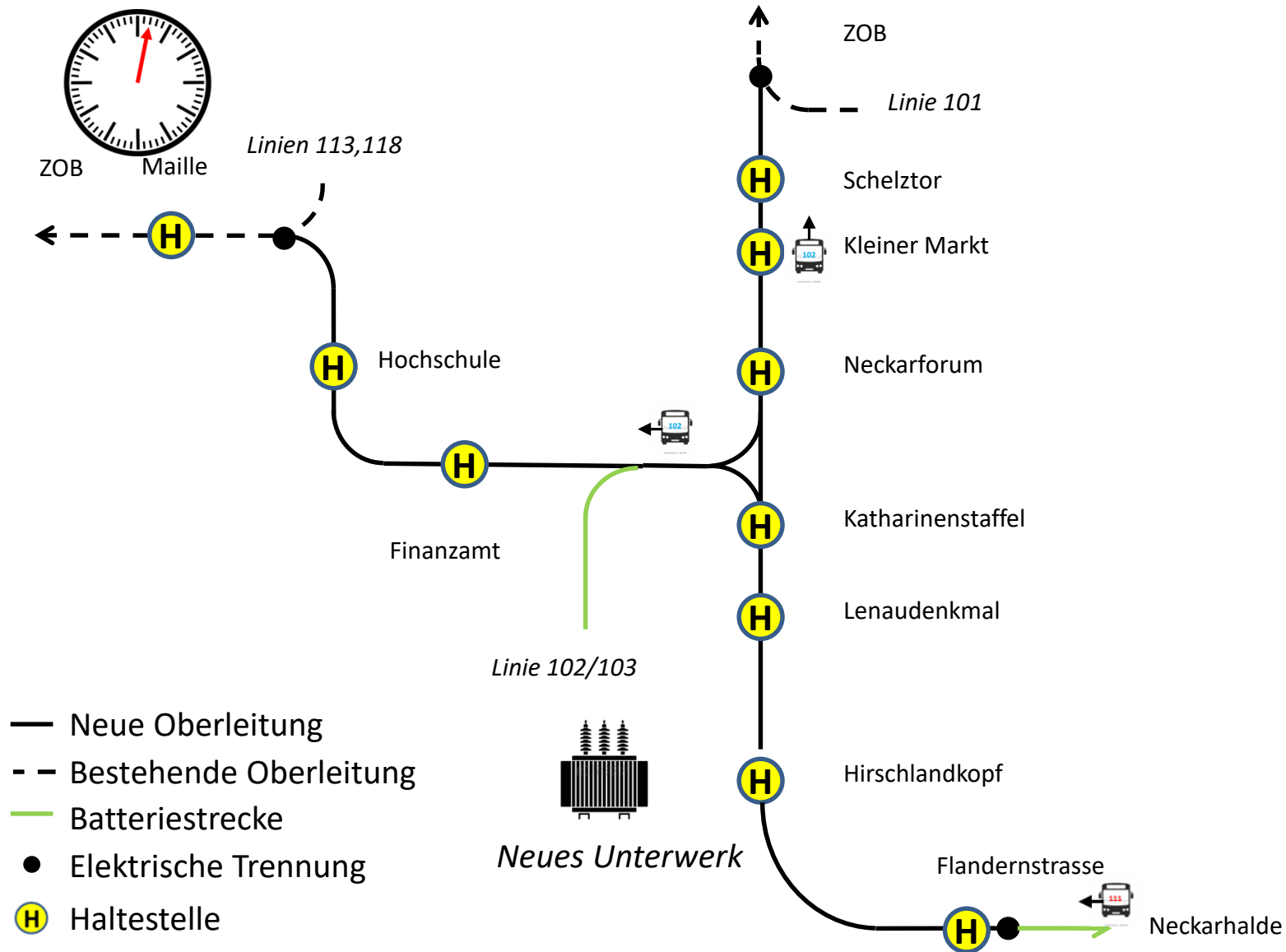
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



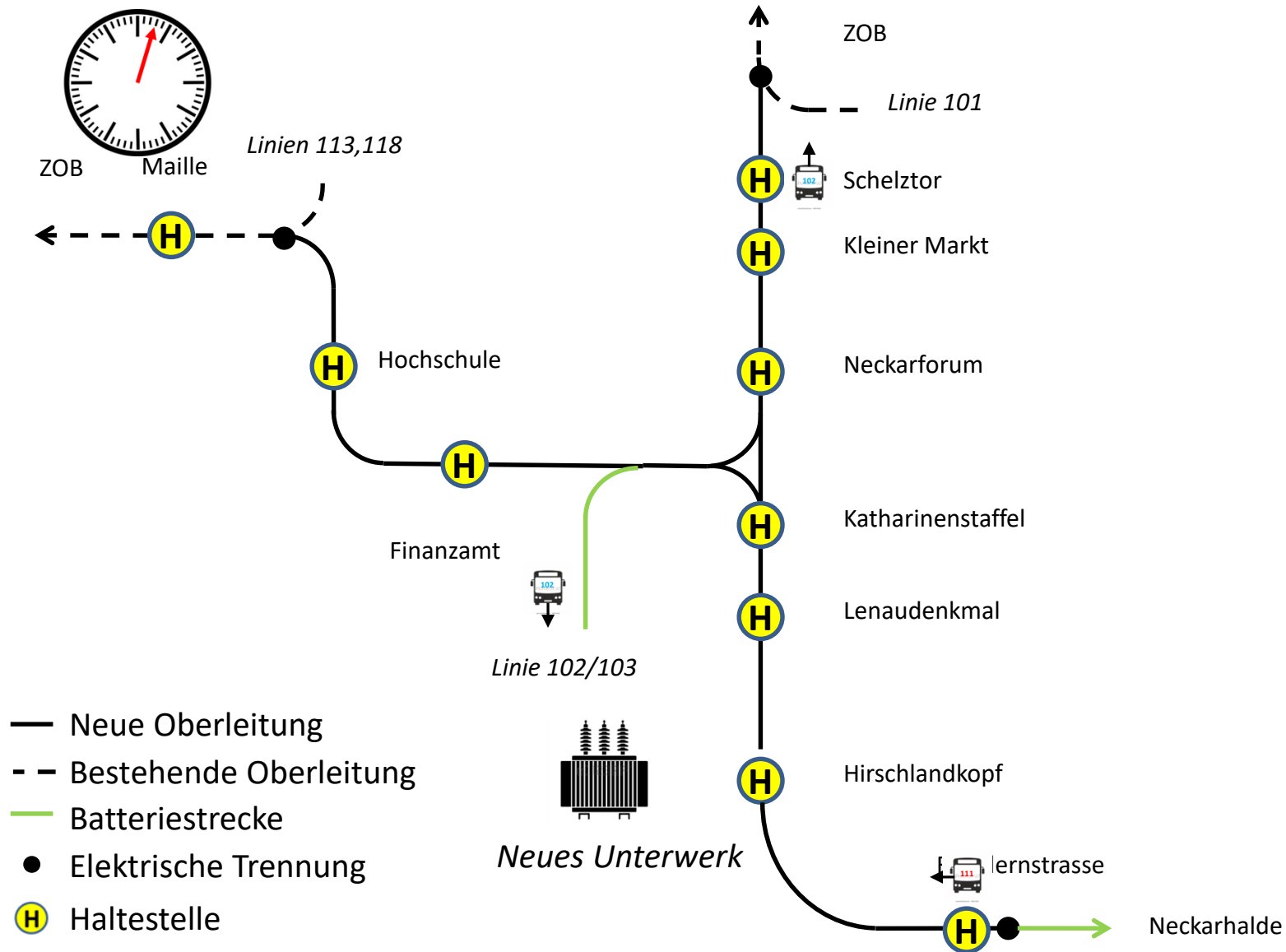
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



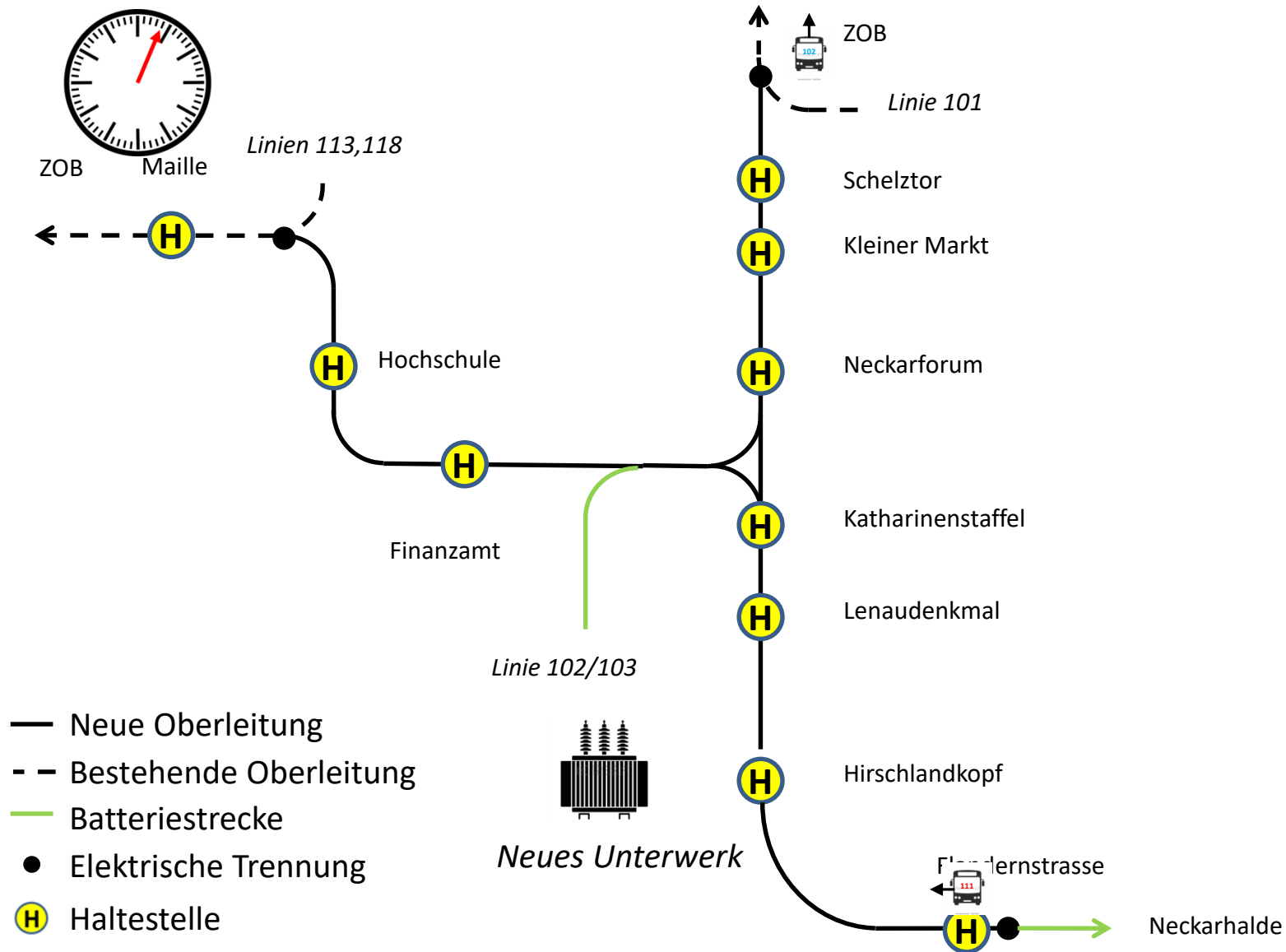
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



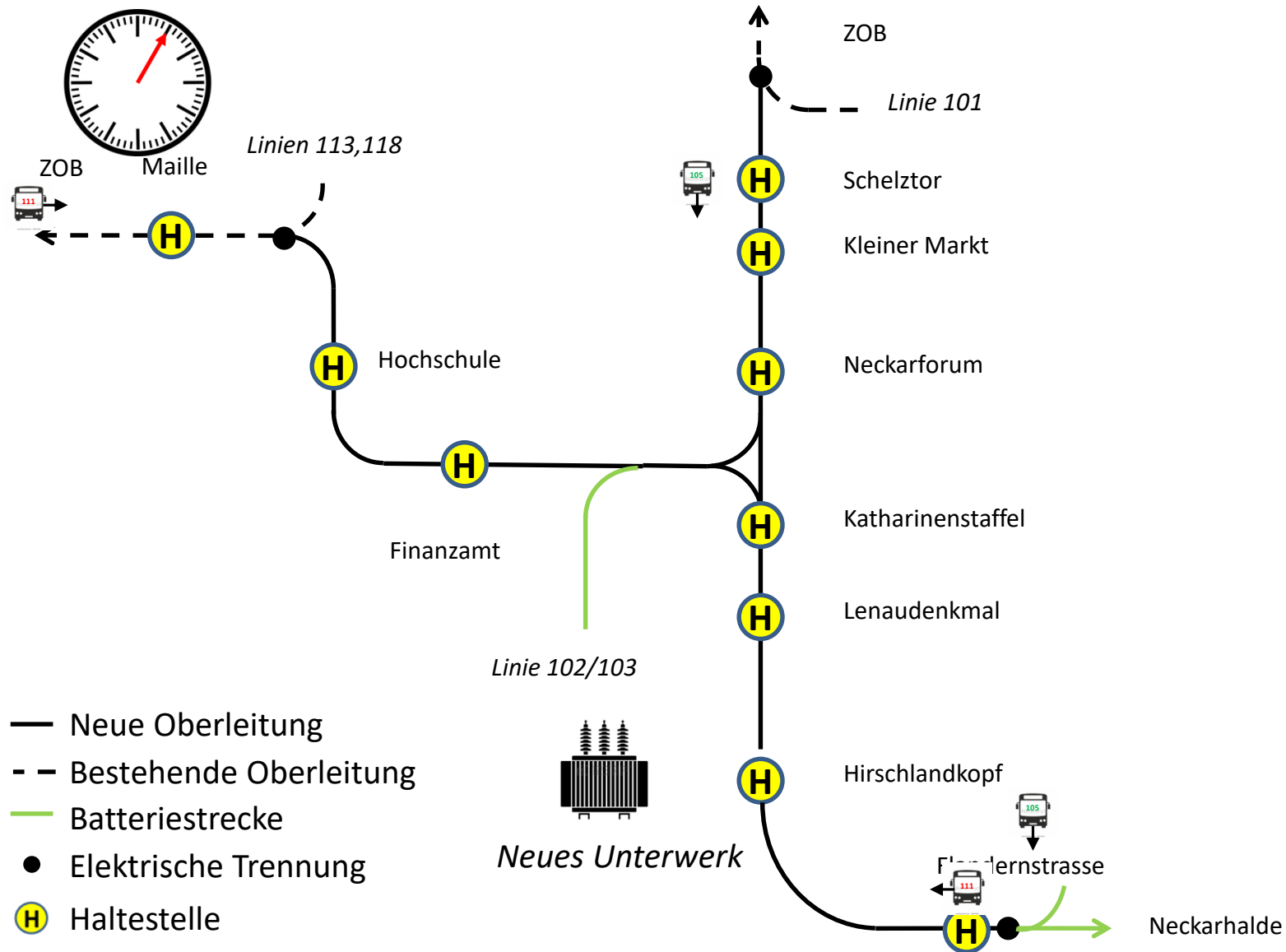
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



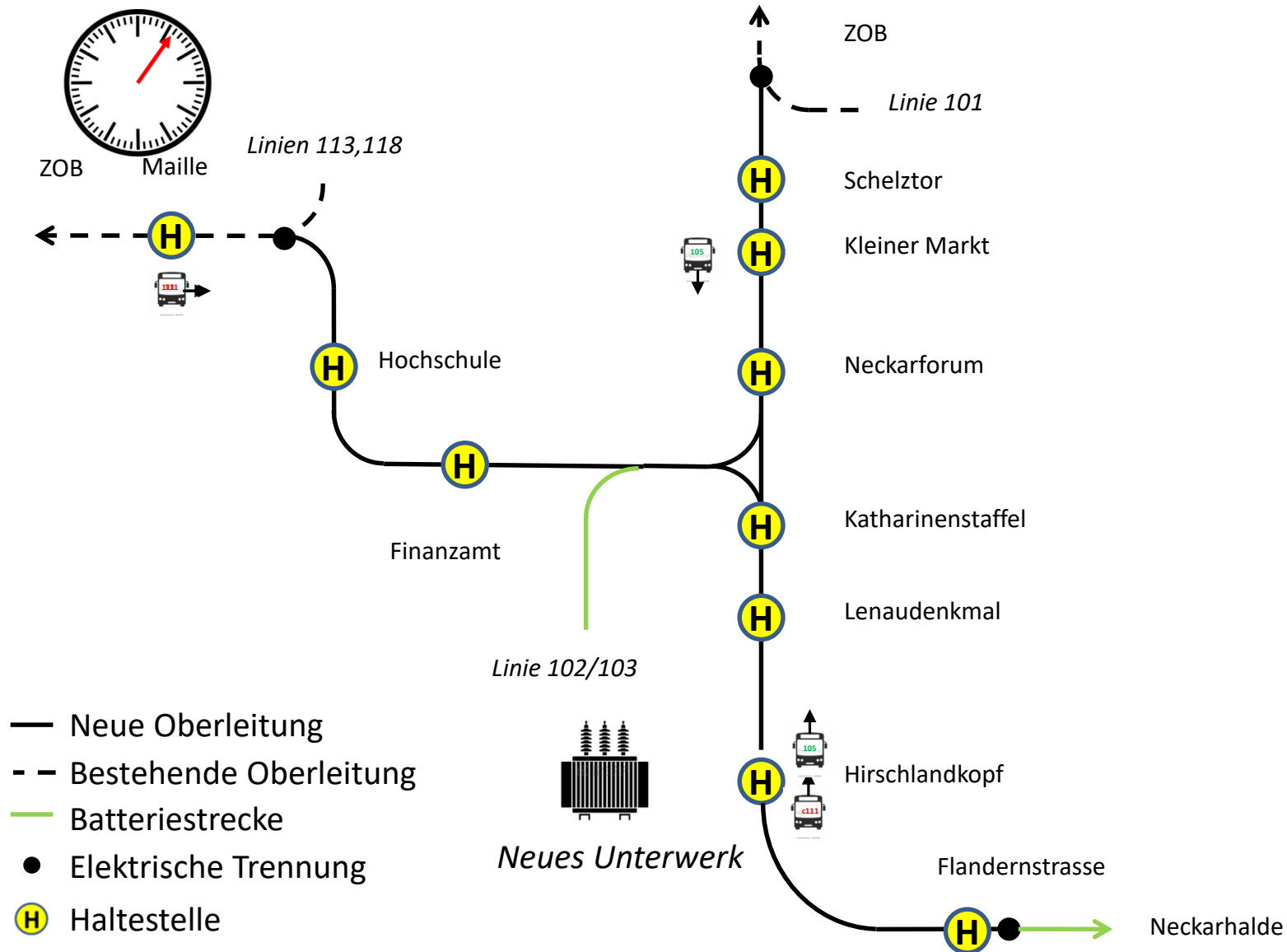
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



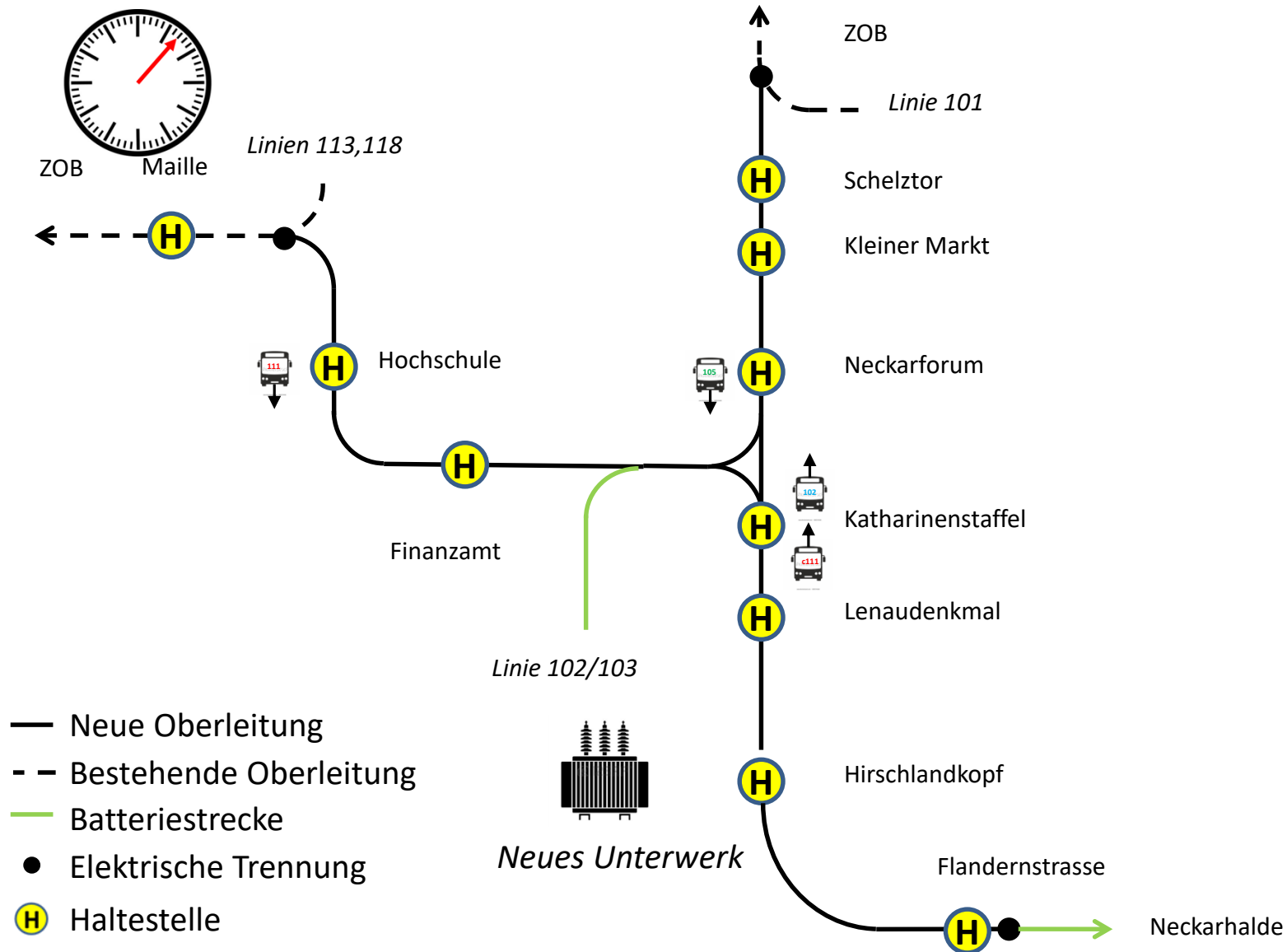
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



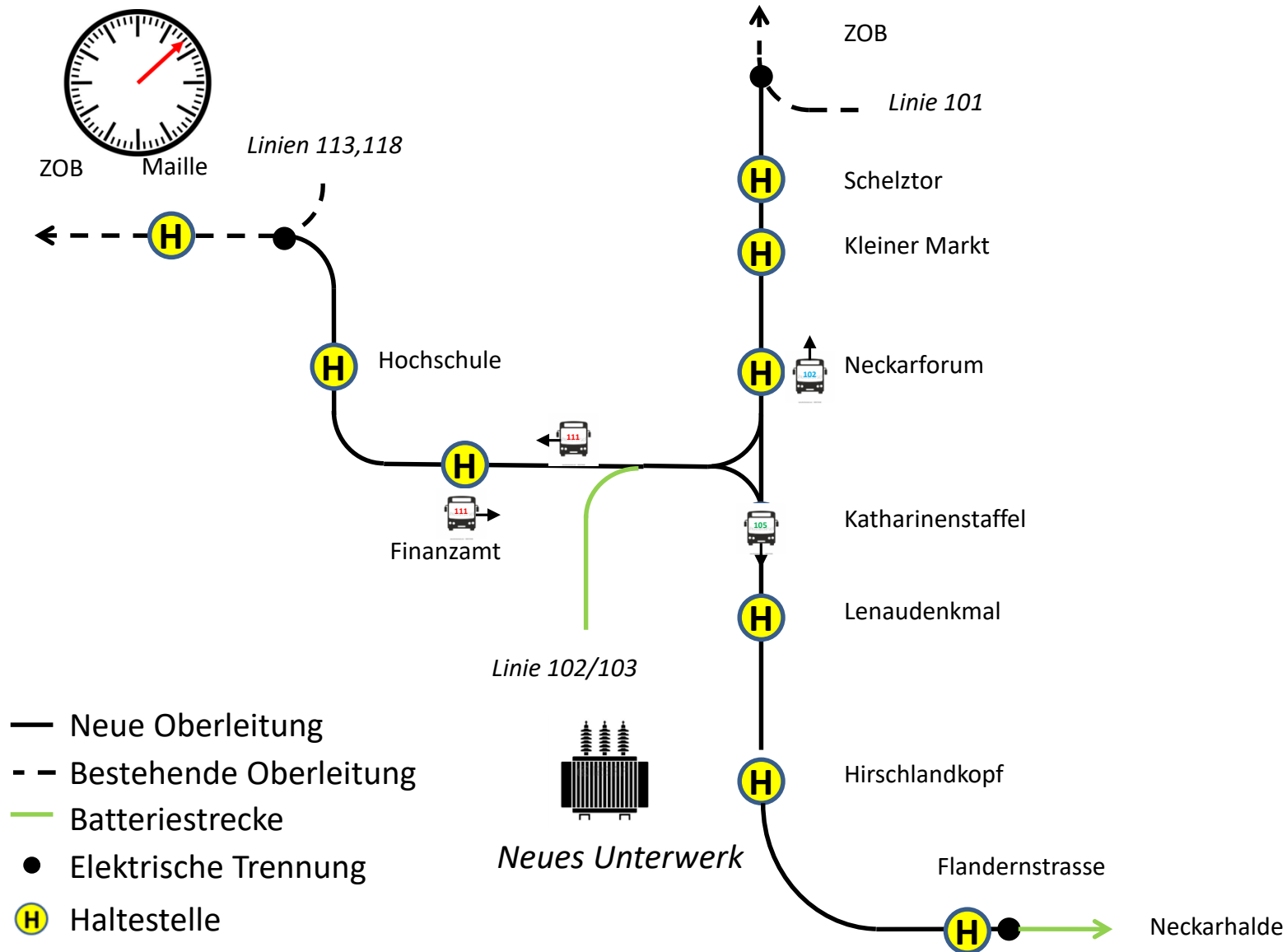
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



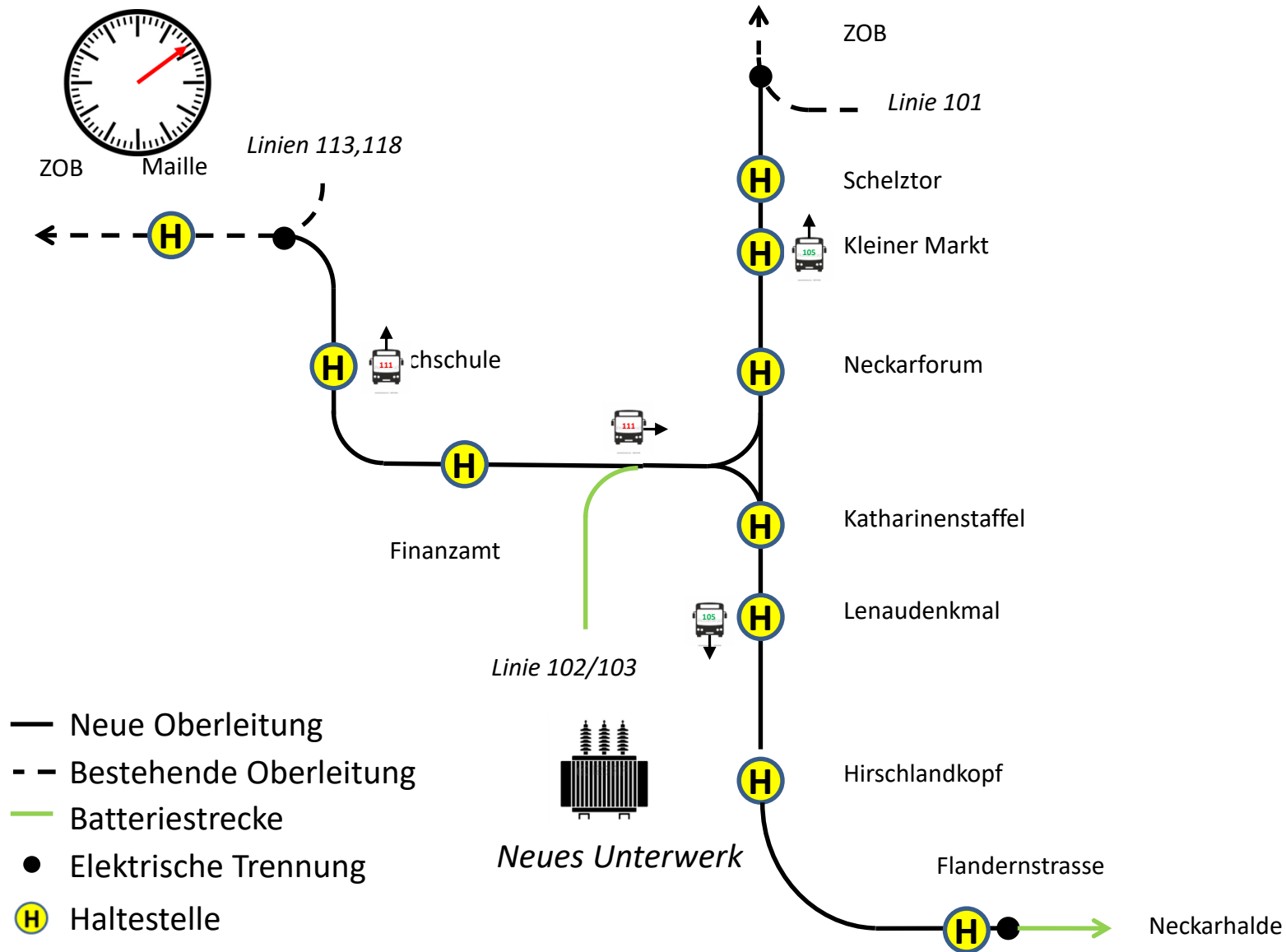
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



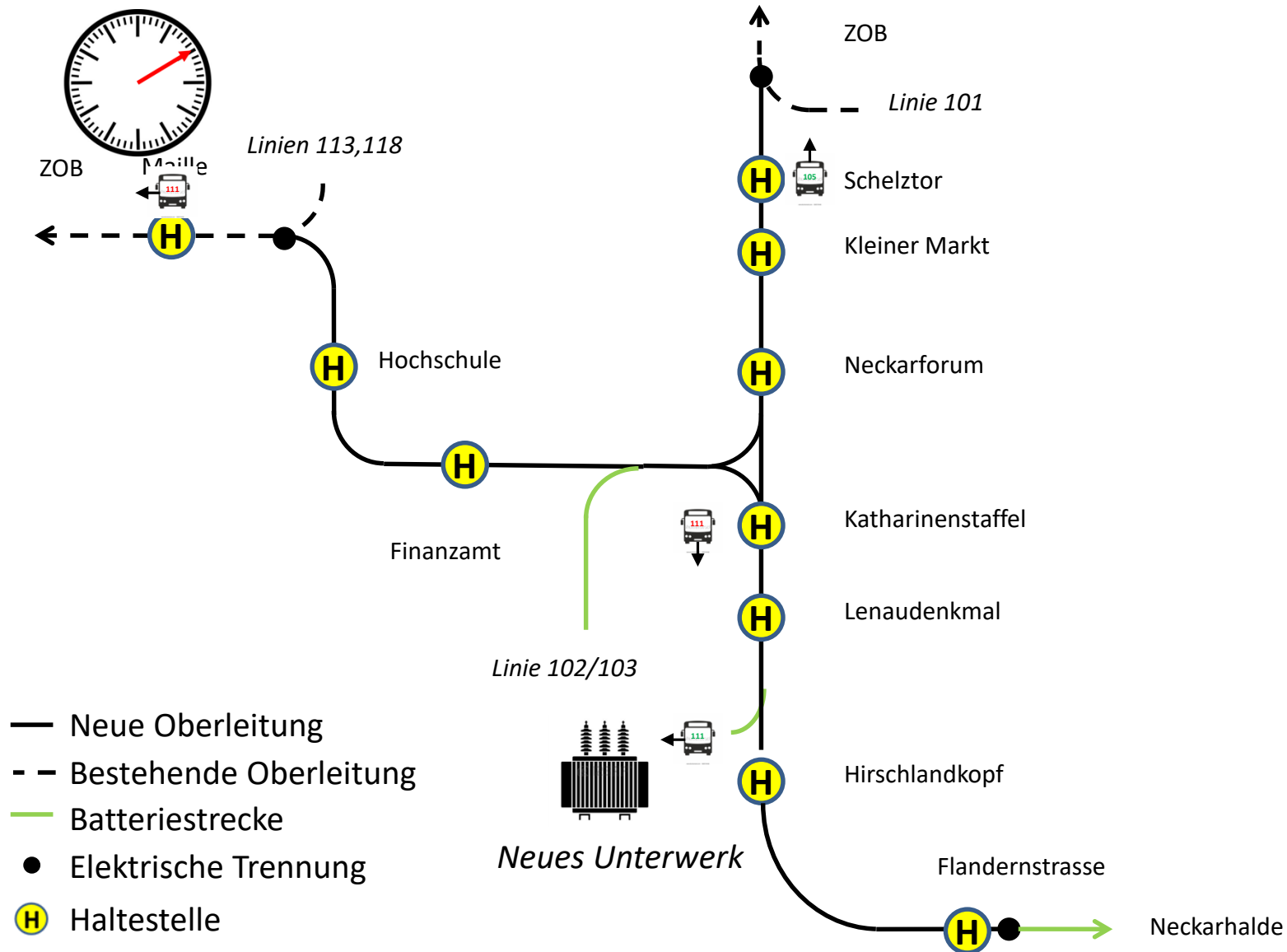
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



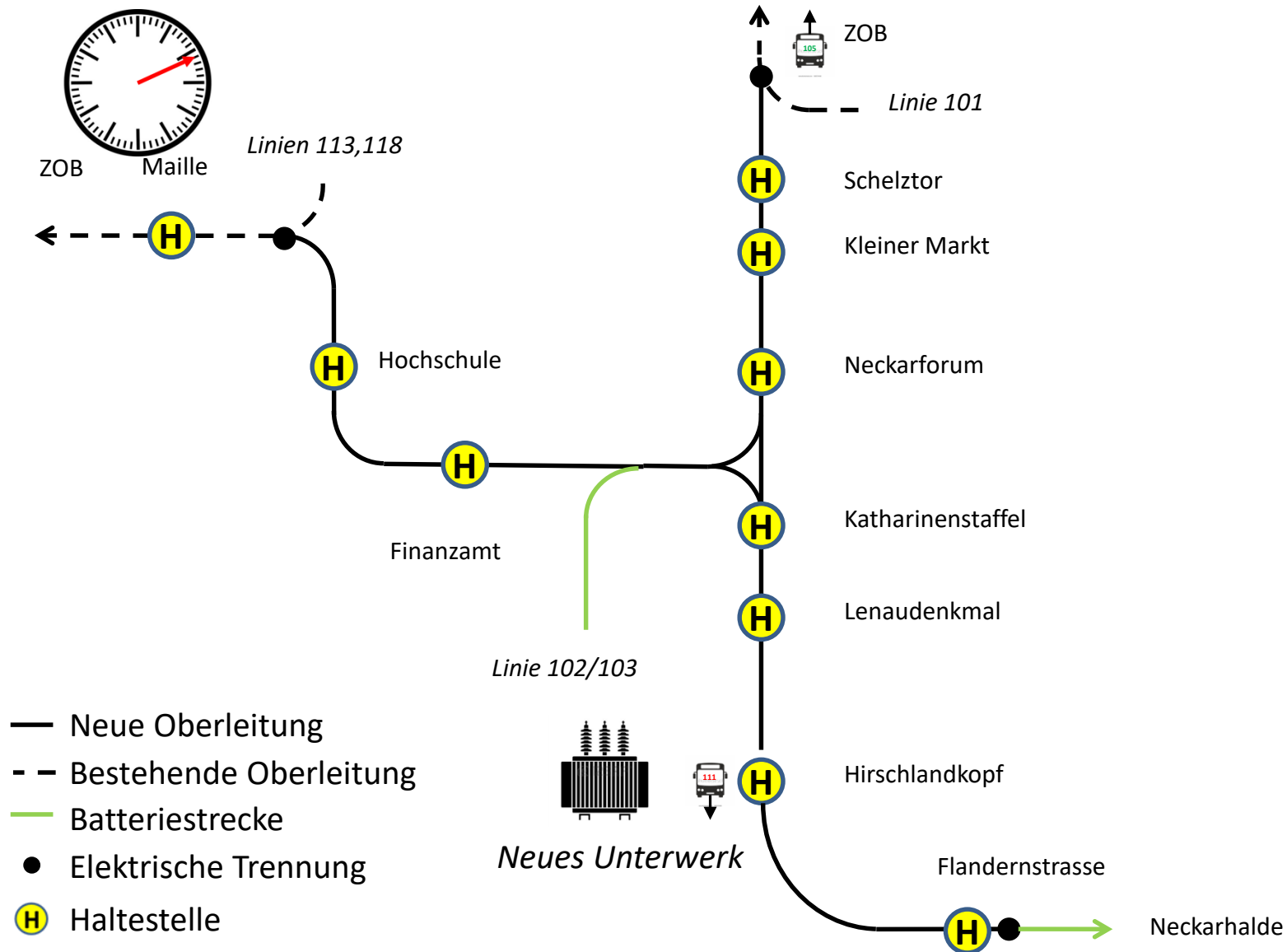
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



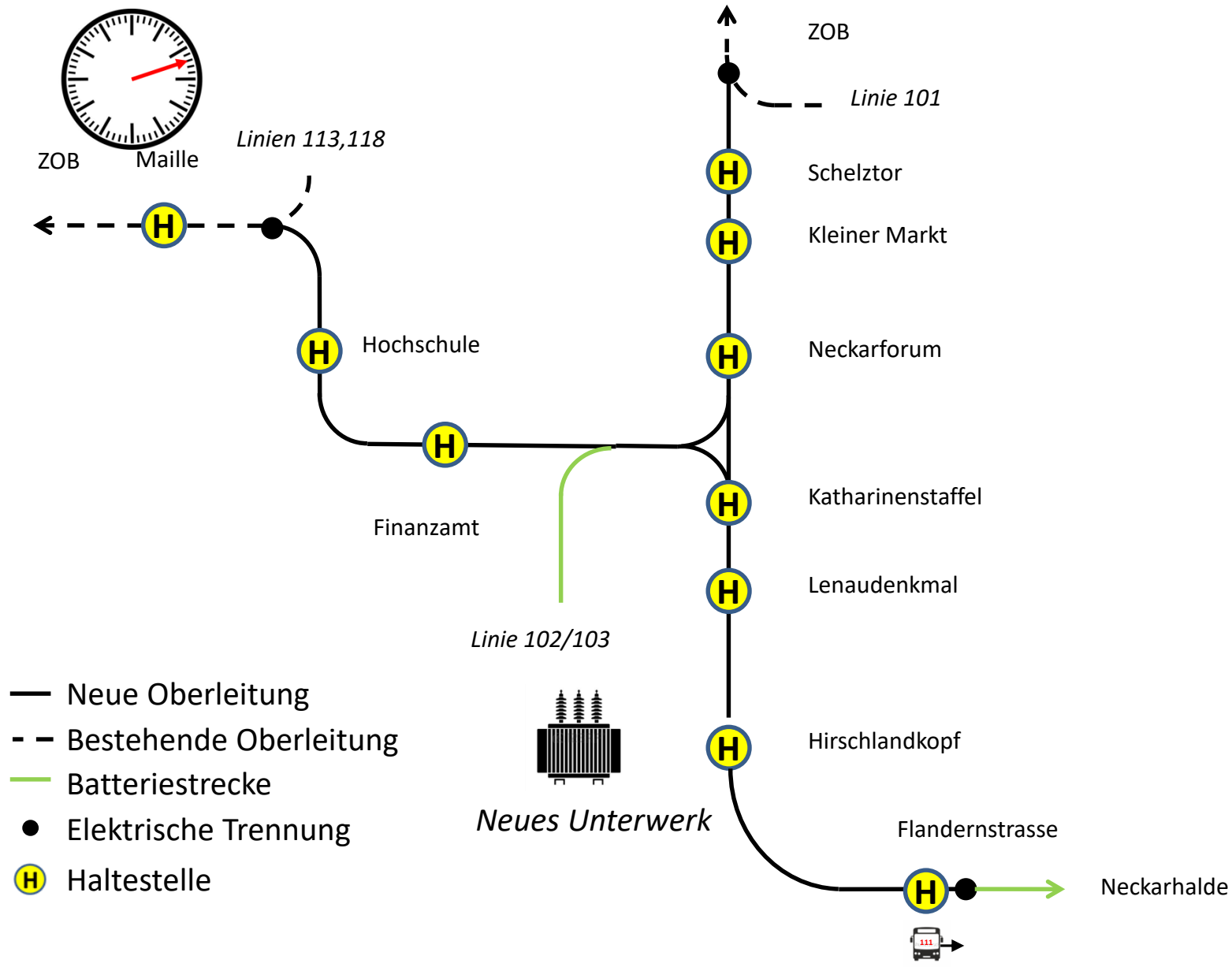
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



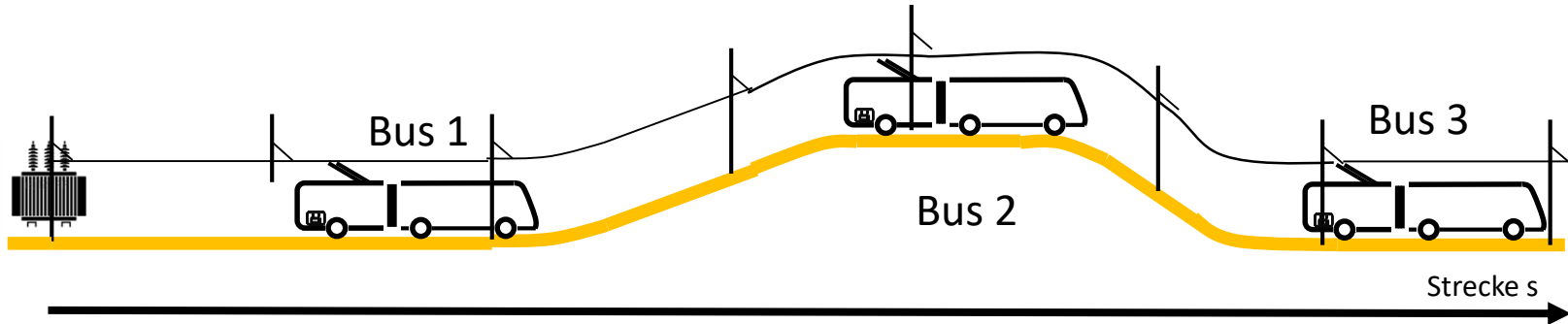
Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



Neuer SVE Netzabschnitt östlicher Altstadttring/Mühlbergsteige



Methodik Schritt 3 Auslegung eines UW

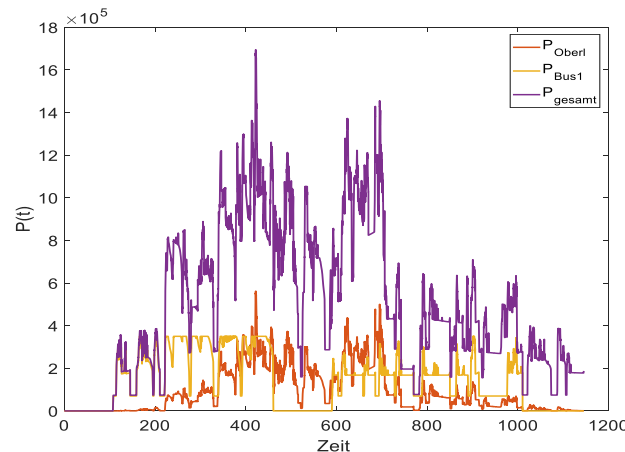


Leistungsbilanz: $P_{\text{Bus1}} = f(s_1(t), v_2(t), h_1(t), \dots)$ $P_{\text{Bus2}} = f(s_2(t), v_2(t), h_2(t), \dots)$ Busleistungen

$$+ P_{\text{Oberl}} = f\left(\sum P_{\text{BusN}}, s_1, s_2, \dots\right) \quad \text{Leitungsverluste}$$

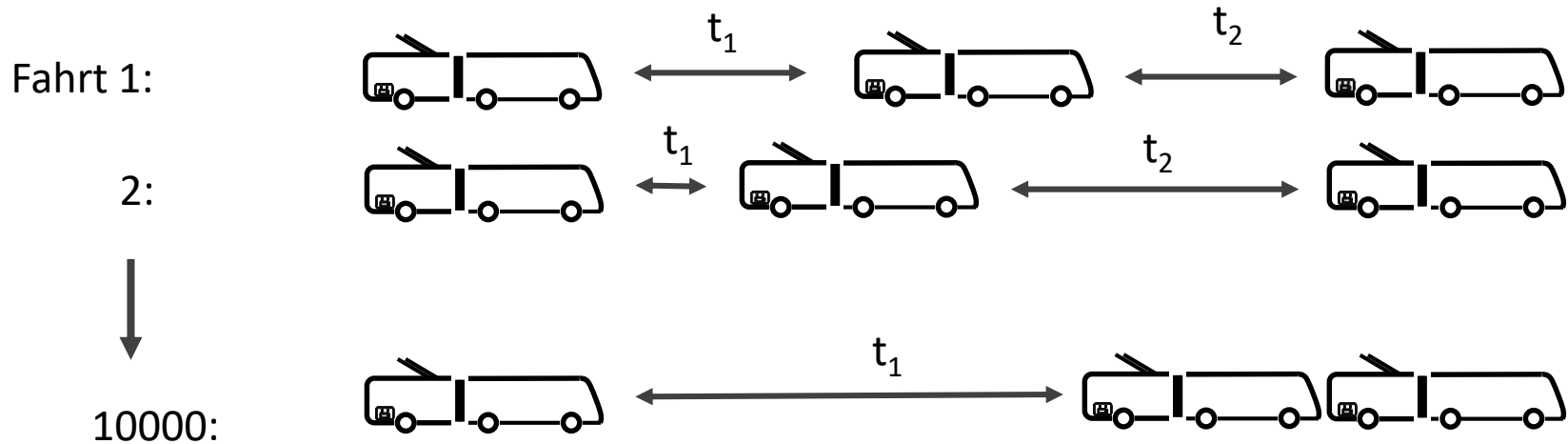
$$+ P_{\text{Leistungselektronik}} + P_{\text{Kontaktwiderstand}} + \dots + P_{\text{Transformator}} \quad \text{zeitabhängige Verlustleistung}$$

$$P_{\text{gesamt}} = f(t)$$



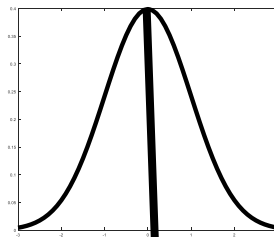
Methodik Schritt 3 Auslegung eines UW

Parametrische Modellbildung – Monte Carlo Simulation



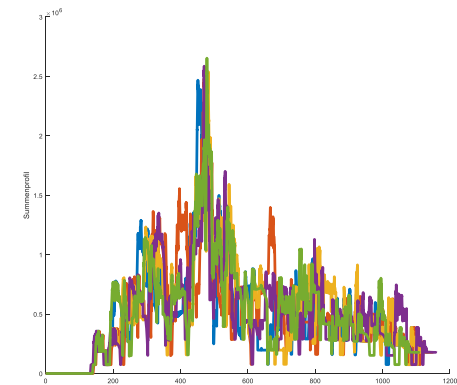
Variation t_x :

Gaussche
Normalverteilung



$t_{x, \text{Fahrplan}}$

Summen- /
Lastkollektiv



5. Ausblick: Kopplungsmöglichkeiten

Energiequellen

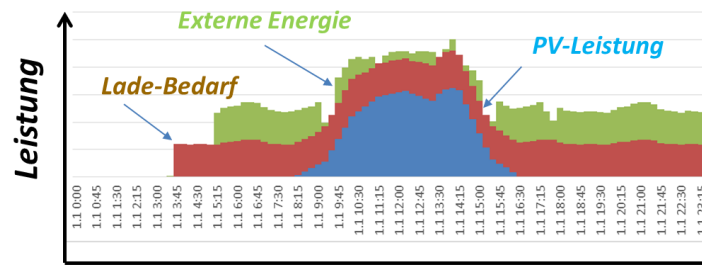


Nicht steuerbar



steuerbar

Korrelation Angebot - Bedarf



Beispiel: Laden E-Pkw

Tageszeit

Optimierung

- Steuerung
- Verteilung
- Übertragung
- Speicherung
- Bidirektionalität
- Rekuperation
-

Elektr. Leistung

Wärmeleistung

- Vorkonditionierung
- Heizung Standphasen
- Laden Wärmespeicher
- ...

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Zwischenspeicherbedarf in der Intersektoralen Energieverknüpfung

Energieerzeuger können hinsichtlich Ihrer Steuerbarkeit unterschieden werden:

- nicht steuerbar: PV
- nicht steuerbar: Wind
- steuerbar: BHKW (Kopplung Strom/Wärme)

Um fluktuierende Energien auszugleichen müssen Speichersysteme verwendet werden. Hierbei besteht eine Korrelation zwischen der Speichergröße und der Phasenverschiebung. Nachfolgend ist dies am Beispiel PV gezeigt:

100 % Korrelation und geringe Phasenschiebung
Verfügbarkeit PV am Tag = Energieanforderung im ÖPNV (Busse)
Geringer Speicherbedarf

0% Korrelation und lange Phasenschiebung
Verfügbarkeit PV Nacht = **Laden Pkw** Nachts
Hoher Speicherbedarf : Saisonale Speicher

