



## Impulsreferat „Wirtschaftliche Aspekte“

---

### **Schienenfahrzeuge im ÖPNV – Probleme aus Konstruktion, Instandhaltung und Nutzungsgrad**

Jahresversammlung des ZBV  
am 16./17.10.2014 in Augsburg

17. Oktober 2014



## Impulsreferat „Wirtschaftliche Aspekte der Schienenfahrzeuginstandhaltung“

Jahresversammlung des ZBV am 16./17.10.2014 in Augsburg

### Instandhaltungs- kosten

Strukturübersicht

Betrachtungsebenen aus wirtschaftlicher Sicht

Bemessung von Personal- und Kostenzielen

Personalbemessung nach VDV 882

Hochrechnung einer Flottenerneuerung

Bandbreiten des Personaleinsatzes

Alterskurve (Beispiel Bus)

Rahmenbedingungen und Gestaltungsfelder

### Umbau/Moderni- sierung/Sanierung

Typische Eckdaten

Modellrechnung Neufahrzeug mit/ohne  
Förderung

Modellrechnung Sanierung gegenüber  
Neufahrzeug mit/ohne Förderung

### Fazit



# Instandhaltungskosten

## Strukturübersicht

**Instandhaltungskosten**

**Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung**

**Fazit**

	Personal	Material	Fremdleistungen (inkl. Materialanteil)		
Regelprogramm (Inspektion, Wartung, ...)	✓	✓		relativ konstant, sehr gut planbar	sehr gut optimierbar gemäß IH-Strategie
Alters- und verschleiß- bedingte Instandsetzung	✓	✓	✓	schwankend, teils nicht planbar	überwiegend optimierbar gemäß IH-Strategie
Unfall/Vandalismus	✓	✓	✓	stark schwankend, überwiegend nicht planbar	fast nicht optimierbar
Fahrzeugbereitstellung	✓		✓	sehr konstant und planbar	sehr gut optimierbar
Teileaufarbeitung	✓			konstant gestaltbar bzw. als Füllarbeit sehr gut planbar	sehr gut optimierbar
<b>Häufig anzutreffende Bandbreiten</b>	<b>50% - 60%</b>	<b>30% - 40%</b>	<b>5% - 10%</b>		
<b>Umbau, Modernisierung, Sanierung (hoher Anteil investiv)</b>	✓	✓	✓		



# Instandhaltungskosten

Betrachtungsebenen aus wirtschaftlicher Sicht

## Instandhaltungskosten

Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung

Fazit

- Ist-Kosten
  - Anforderungen des Rechnungswesens
  - Identifikation von Schwerpunkten, Veränderungen, Entwicklungstendenzen (Bsp. Zunahme des Materialanteils)
  - Benchmarking als normierter Quervergleich (teils Kosten-/Personaleinsatz-Relationen von 1:1,5)
- Plan-Kosten
  - Anforderungen der Wirtschafts- und Finanzplanung
  - Grundlage der Personalplanung/-entwicklung
  - Voraussetzung für Plan-Ist-Vergleich und Entstehung einer Lernkurve sowohl für Plan als auch für Ist
- Ziel-Kosten
  - Spezifikation eines wirtschaftlichen Optimums
  - Voraussetzung für Plananpassungen bei Entscheidungssituationen/Weichenstellungen
  - Prüfung von Nachsteuerungsbedarf aufgrund der regelmäßigen Analyse der Ist-Kosten sowie des Plan-Ist-Vergleichs



## Instandhaltungskosten

Bemessung von Personal- und Kostenzielen

### Instandhaltungskosten

Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung

Fazit

- Sehr unterschiedliche Erfahrungen und Einschätzungen der ÖPNV-Unternehmen für ihre teils sehr unterschiedlichen Fahrzeugtypen
- Keine Hilfestellung seitens der Hersteller mangels Betreiber-Erfahrung
- Kein umfassendes, aktuelles und allgemein anerkanntes Normierungsverfahren zur Bestimmung des jeweils angemessenen Instandhaltungsaufwands
- Bleibt die VDV-Schrift 882 „Kennzahlen für den Bedarf an Werkstättenpersonal – Instandhaltung von Schienenfahrzeugen nach BOStrab“ von 10/2000
- Der Ansatz gemäß VDV 882 berücksichtigt den Personalbedarf zur Vollinstandhaltung durch Handwerker, Vorhandwerker/Schichtführer, Meister, Werkstattleiter, Bürokräfte, Arbeitssteuerer, Rangierer, Reiniger etc.
- Fremdleistungen sind bei der Personalbemessung ohne einen üblicherweise enthaltenen Materialanteil gegenzurechnen
- In der Personalbemessung nicht enthalten sind Mitarbeiter für Fahrzeugplanung/-beschaffung, Materialwirtschaft/Lager und Unfallsachbearbeitung



# Instandhaltungskosten

Personalbemessung nach VDV 882

**Instandhaltungskosten**

Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung

Fazit

**VDV  
Bewertungs-  
faktoren**

## Fahrzeugbestand (inkl. Reserve)

Straßenbahn-/Stadtbahnwagen, Beiwagen,  
U-Bahnwagen nach Fahrzeuggröße und Anzahl  
Radsätze (T/L)

0,5 - 1,4

Laufleistung ggü. Norm 55/80/90 Tkm zu 80%

Tkm/Norm-Tkm

## Fahrzeugausstattung (Technik): Faktor $a_t$

Zugsicherungsanlage

0,01

Traktionsbetrieb

0,01

Tunnelfähigkeit

0,01

Zweirichtungswagen

0,10

reduzierte Radreifengröße

0,03

Druckluftanlage

erhöhte Anzahl Triebachsen/"Allradantrieb"

Anlenkung GRP

Ausfahrbare Kupplung

rotierender Umformer

Hydraulikanlage

Multigelenkfahrzeug/zusätzliche Gelenke

Brandmeldeanlage

Vernebelungsanlage

angemessen  
zu berück-  
sichtigen



# Instandhaltungskosten

Personalbemessung nach VDV 882

Instandhaltungskosten

Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung

Fazit

## Fahrzeugausstattung (Betrieb): Faktor $a_b$

	VDV Bewertungs- faktoren
mechanische Einstiegshilfen (Trittstufen)	0,05
fremdkraftbetätigte Rampe	0,02
Klimaanlage	0,03
Funk/LSA-Beeinflussung	angemessen zu berück- sichtigen
IBIS/RBL	
zusätzliche Türen	
Vollklimatisierung	
Fahrerstandsklimatisierung	
Zusätzl. Fahrgastinfo/Haltestellenansage	
Zusätzl. Fahrgastinfo/Haltestellenanzeige	
Fahrscheinautomat	
Videoüberwachung	
zweites Funksystem (z.B. EBO)	
Personenzählsystem	



# Instandhaltungskosten

Personalbemessung nach VDV 882

**Instand-  
haltungskosten**

Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung

Fazit

- Von der VDV-Schrift 882 benannte „unbewertete Einflussgrößen“
  - Arbeitszeitmodelle als Funktion der Tagesganglinie
  - Haltestellenabstand/Reisegeschwindigkeit
  - Topographie
  - Ausprägung des Fahrwegs (Radien, besonderer Bahnkörper)
  - Werkstattausstattung sowie Anzahl, Größe, Lage der Betriebshöfe
  - Fahrzeualter (Regelnutzungsdauer 30 Jahre)
  - Qualitätsstandards
- Folgende Fragen bleiben damit offen:
  - Wie ist der Materialaufwand zu bemessen?
  - Wie sind im jeweiligen Fall die von der VDV-Schrift nicht quantifizierten Einflussgrößen festzulegen?
  - Wie ist mit Hoch- bzw. Niederflur-Fahrzeugen umzugehen?
  - Wie sind zwischenzeitliche Produktivitätssteigerungen zu berücksichtigen?
- ⇒ Ausgehend von der Personalbemessung gemäß 882 sind spezifische Anpassungen erforderlich

Dabei geht es um plausible Modifikation der Standard-Ergebnisse anhand belegbarer Besonderheiten, Abweichungen, Vergleichswerten etc.





# Instandhaltungskosten

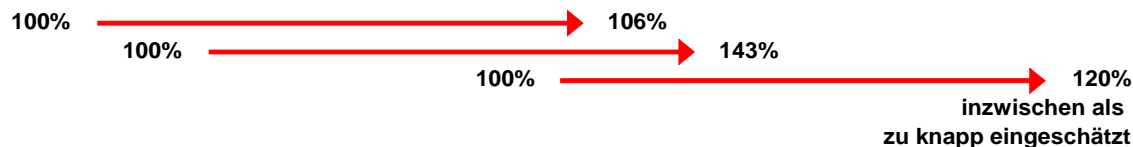
Hochrechnung einer Flottenerneuerung

**Instandhaltungskosten**

Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung

Fazit

Fz.-Typ	Fahrzeugbestand alte Flotte					Fahrzeugbestand neue Flotte				
	Anz. Fz.	Anz. RWg.	Ø RWg je Fz.	Std. IH je Fz.*a	Std. IH p.a.	Anz. Fz.	Anz. RWg.	Ø RWg je Fz.	Std. IH je Fz.*a	Std. IH p.a.
6er NF	50	76	1,51	342	17.084	50	67	1,34	302	15.090
8er NF	20	32	1,60	280	5.600	20	33	1,65	289	5.781
8er NF neu +						90	212	2,35	412	37.053
10er NF	20	32	1,60	322	6.442	20	34	1,68	339	6.787
8er HF alt -	75	77	1,03	320	24.000					
6er HF	75	127	1,69	310	23.224	75	146	1,95	357	26.797
<b>Summe</b>	<b>240</b>	<b>344</b>	-		76.350	<b>255</b>	<b>491</b>	-		91.508



○ Wo kann der Schätzfehler bei der Hochrechnung anhand des effektiven Ist-Aufwands liegen?

- Als Schätzbasis herangezogene Bestandsfahrzeuge zu neu?
- Nachlassende Produktivität?
- Unterschätzte Technik der Neufahrzeuge?
- „Überraschungen“ bei den Bestandsfahrzeugen?

Serienfehler wie Risse infolge statischer Mängel und hoher Dachlasten, vorzeitige Materialermüdung an Gestellen und Wagenkasten, Abläufer, quer stehende Einzelräder, Rampenstörungen, vorzeitige Fußbodendurchrottung etc.

- „Unbewertete“ Einflussgrößen?



# Instandhaltungskosten

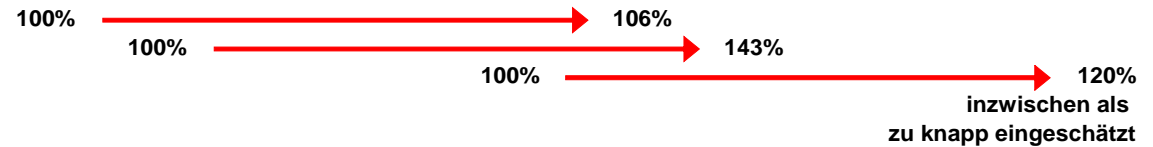
Hochrechnung einer Flottenerneuerung

**Instandhaltungskosten**

Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung

Fazit

Fz.-Typ	Fahrzeugbestand alte Flotte					Fahrzeugbestand neue Flotte				
	Anz. Fz.	Anz. RWg.	Ø RWg je Fz.	Std. IH je Fz.*a	Std. IH p.a.	Anz. Fz.	Anz. RWg.	Ø RWg je Fz.	Std. IH je Fz.*a	Std. IH p.a.
6er NF	50	76	1,51	342	17.084	50	67	1,34	302	15.090
8er NF	20	32	1,60	280	5.600	20	33	1,65	289	5.781
8er NF neu +						90	212	2,35	412	37.053
10er NF	20	32	1,60	322	6.442	20	34	1,68	339	6.787
8er HF alt -	75	77	1,03	320	24.000					
6er HF	75	127	1,69	310	23.224	75	146	1,95	357	26.797
<b>Summe</b>	<b>240</b>	<b>344</b>	-		76.350	<b>255</b>	<b>491</b>	-		91.508



- ⇒ Je mehr sich Parameter von Flottenszenarien/Betrachtungszeitpunkten voneinander unterscheiden,
  - desto vorsichtiger sind die Ergebnisse einer Hochrechnung zu interpretieren bzw.
  - desto detaillierter sind sie zu plausibilisieren
- ⇒ Es gibt jedoch zurzeit kein besseres pragmatisches Instrumentarium



# Instandhaltungskosten

Bandbreiten des Personaleinsatzes

## Instandhaltungskosten

Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung

Fazit

- Als Richtwert für den Personaleinsatz gibt die VDV 882 0,4 VZK bis 0,5 VZK pro RWg. an
  - Häufig anzutreffende Ist-Werte liegen zwischen 0,35 VZK und 0,50 VZK
  - Gute Werte liegen zwischen 0,35 VZK und 0,40 VZK
  - Best Practice Werte sind zwischen 0,30 VZK und 0,35 VZK angesiedelt
  - Neben einer weiteren Spezifizierung der o.g. Einflussfaktoren für den Personaleinsatz und die Kosten der Instandhaltung sind insbesondere
    - Modelle für Lebenszykluskosten aktueller Fahrzeugtypen
    - auf Basis des Kostenverlaufs in Abhängigkeit vom Alter bzw. von der Potenzialausschöpfung der Fahrzeugezu erarbeiten
- ⇒ Nutzung für die Personal- und Kostenplanung sowie für Beschaffungs- und Sanierungsentscheidungen



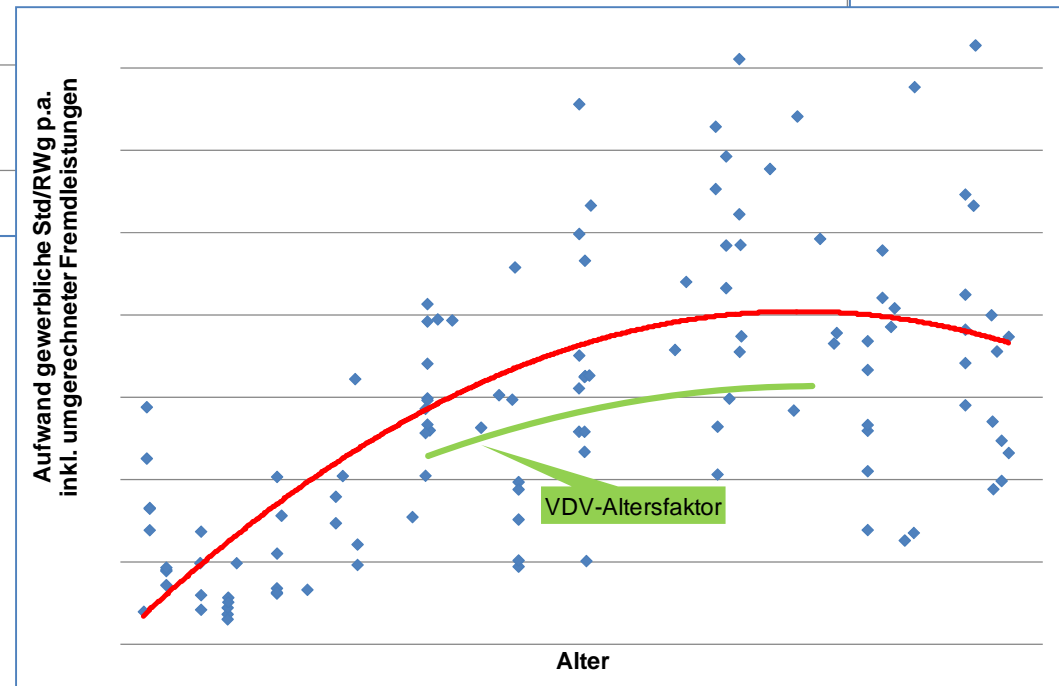
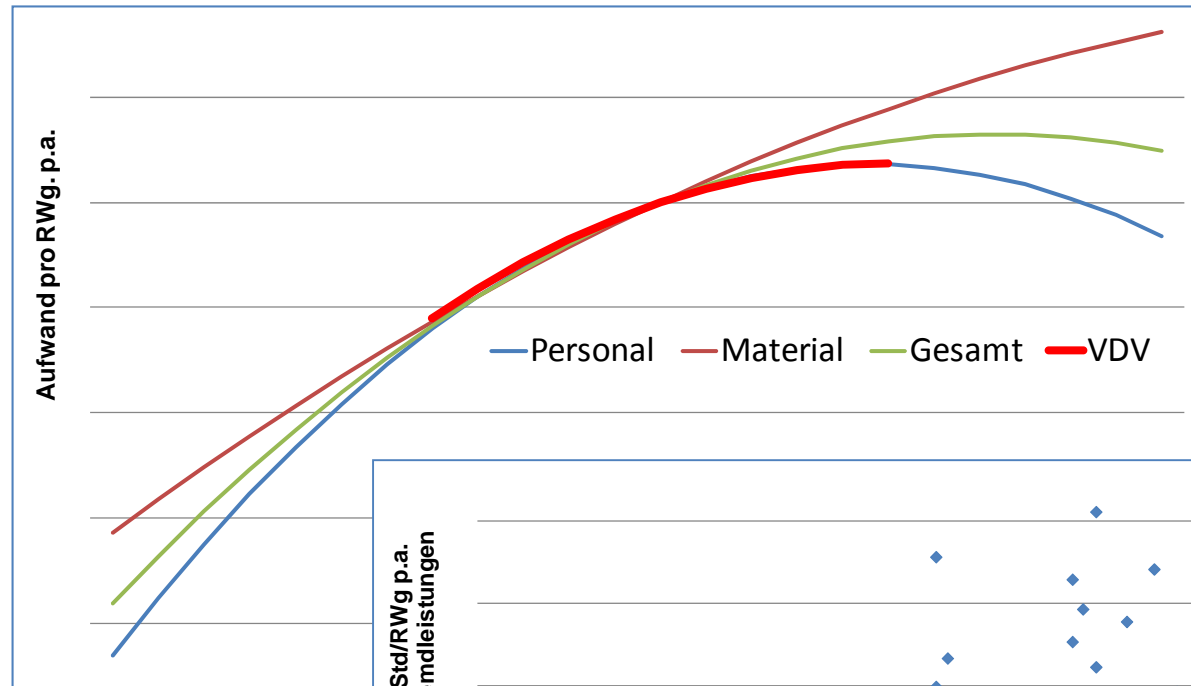
# Instandhaltungskosten

Alterskurve (Beispiel Bus)

Instandhaltungskosten

Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung

Fazit





# Instandhaltungskosten

Rahmenbedingungen und Gestaltungsfelder

**Instand-  
haltungskosten**

Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung

Fazit

- Fahrzeugreserve in Abhängigkeit von der Einsatzflexibilität und temporären Bedarfen für z.B. Veranstaltungsverkehre
- Arbeitszeit und Schichtorganisation in Abhängigkeit von der Tagesganglinie, der Fahrzeugreserve und der Arbeitsteilung (Betriebswerkstatt, Komponentenwerkstatt, Entstörung, Fahrfertigmachen)
- IH-Strategie zur Optimierung der Kosten und der Verfügbarkeit
  - Regelprogramm (zeit-/laufleistungsabhängig, herstellertreu etc.)
  - Gestaffelte HU
  - Radreifenprogramm
  - Laufender Substanzerhalt
- Fahrfertigmachen/Reinigen in Eigen- oder Fremdleistung
- Serien-/Lieferlos-Optimierung
  - Langfristige Beschaffungsoptimierung (Seriengröße, Verteilung der Lieferlose, Entzerrung der Inbetriebnahme und HU-Zeitpunkte etc.)
  - Sanierung bewährter Bestandsfahrzeuge oder Neubeschaffung (Investitionsbetrachtung, Instandhaltungs- und Betriebskosten/Energie, Beförderungskapazität/Durchsatz etc.)
- Teileaufarbeitung



# Umbau/Modernisierung/Sanierung

Typische Eckdaten

Instand-  
haltungskosten

**Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung**

Fazit

- Technische, betriebliche und verkehrliche Sanierungsanlässe
  - Überalterung Wagenkasten, Elektrik, Elektronik (inkl. Teileverfügbarkeit)
  - Zunehmende Störanfälligkeit der Steuerungselektronik, Antriebe, Bremsen
  - Brandschutzanforderungen, Traktionserfordernis, Umstellung auf eine neue Zugsicherungstechnik
  - Außendarstellung/Fahrgastkomfort
- Breite Streuung der Sanierungsaufwände
  - Je nach Sanierungsprogramm 0,4 bis 1,5 Mio. € für eine Verlängerung der Nutzungsdauer zwischen 15 und 30 Jahren
  - Häufig Eigenleistung in Höhe von 0,3 bis 0,5 Mio. € (Personalinvestition)
  - Hohe Materialanteile (insbes. Elektronik, Antriebssteuerung etc.)
  - Hohe Preisspannen der Anbieter bei knapper Kapazität
- Hohe Fahrzeugpreise
  - 2,5 bis 3,5 Mio. € pro Neufahrzeug
  - Restwerte von Niederflurfahrzeugen wegen bisher weniger Verkäufe kaum abschätzbar, voraussichtlich im unteren sechsstelligen Bereich, Ausnahmen für jüngere Fahrzeuge mit geringer Laufleistung
- Heterogene Fahrzeugförderung
  - Teils keine Förderung, teils Direktförderung von Neufahrzeugen mit 40%



# Umbau/Modernisierung/Sanierung

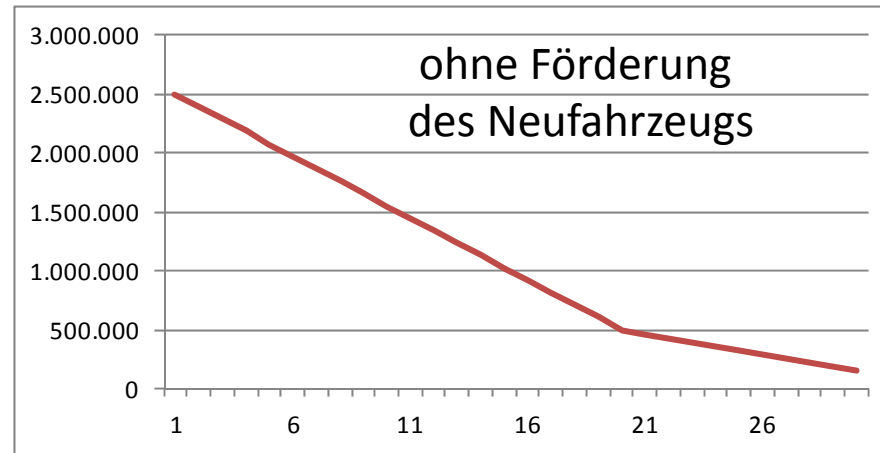
Modellrechnung Neufahrzeug

Instandhaltungskosten

**Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung**

Fazit

## Restwertverlauf



## Weitere Parameter

5% Kalk-Zins

1,5 Rechnungswagen/Fz.

25.000 EUR IH/RWg Jahr 1-5

35.000 EUR IH/RWg Jahr 6-15

40.000 EUR IH/RWg Jahr 16-30

3.000.000 EUR Anschaffungspreis

30 Jahre technische Nutzungsdauer  
(ohne Sanierung)

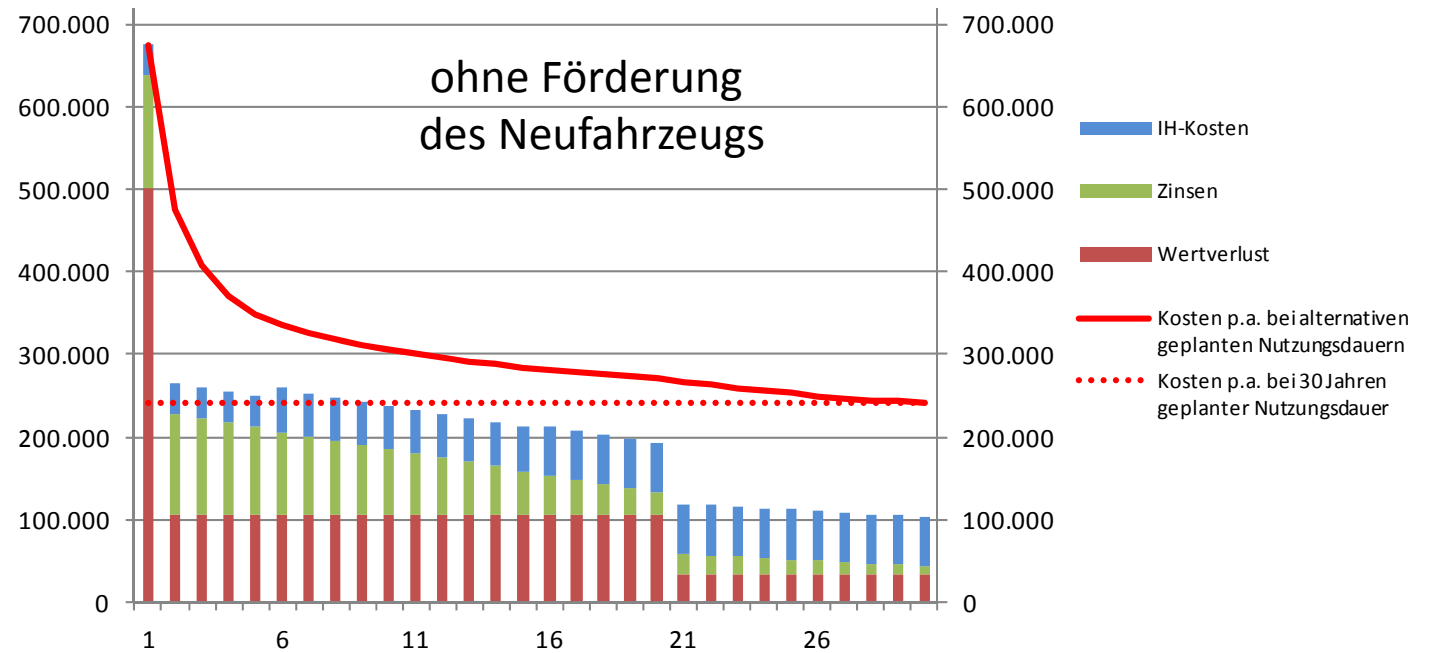


# Umbau/Modernisierung/Sanierung

## Modellrechnung Neufahrzeug

Instandhaltungskosten  
Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung  
Fazit

### Kostenverlauf bei alternativen Nutzungsdauern



⇒ Die wirtschaftlich optimale Nutzungsdauer liegt bei den genannten Ausgangsdaten am Ende der technischen Nutzungsdauer mit durchschnittlichen jährlichen Kosten (Annuität unter Einrechnung von Zinsen) in Höhe von etwa 240 T€ p.a.



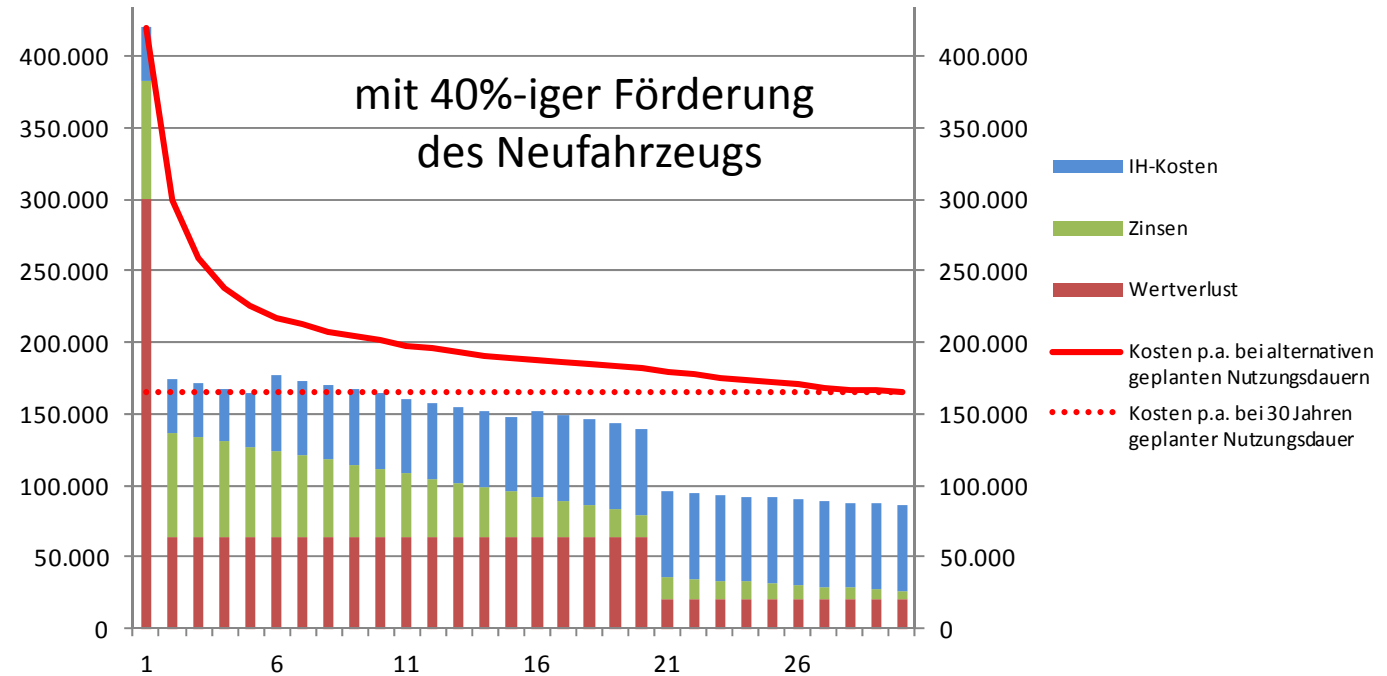


# Umbau/Modernisierung/Sanierung

## Modellrechnung Neufahrzeug

Instandhaltungskosten  
**Umbau/Modernisierung/Sanierung**  
Fazit

### Kostenverlauf bei alternativen Nutzungsdauern



⇒ Bei einer 40%-igen Förderung des Neufahrzeugs belaufen sich die durchschnittlichen jährlichen Kosten (Annuität unter Einrechnung von Zinsen) bei 30 Jahren Nutzungsdauer auf ca. 165 T€ p.a.



# Umbau/Modernisierung/Sanierung

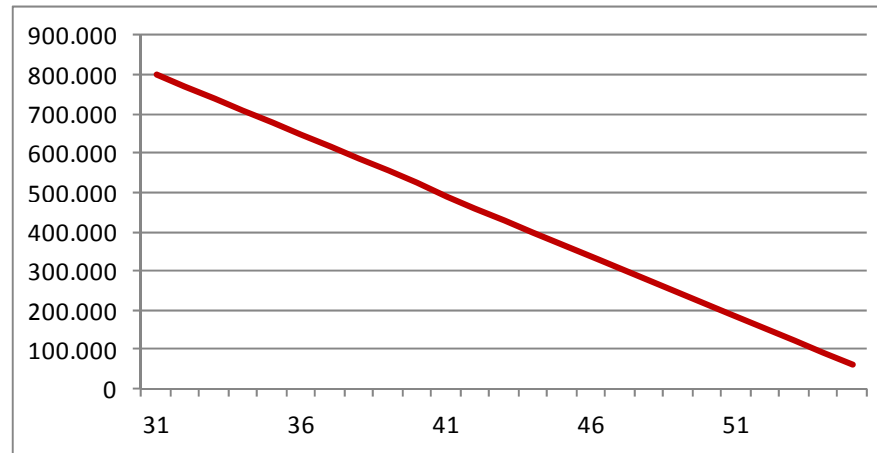
Modellrechnung Sanierung

Instandhaltungskosten

**Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung**

Fazit

## Restwertverlauf



## Weitere Parameter

5% Kalk-Zins

1,5 Rechnungswagen/Fz.

35.000 IH/RWg Jahr 31-40

40.000 IH/RWg Jahr 41-55

1.200.000 Sanierungsaufwand

25 Jahre Restnutzungsdauer

bei Sanierung nach 30 Jahren



# Umbau/Modernisierung/Sanierung

## Modellrechnung Sanierung

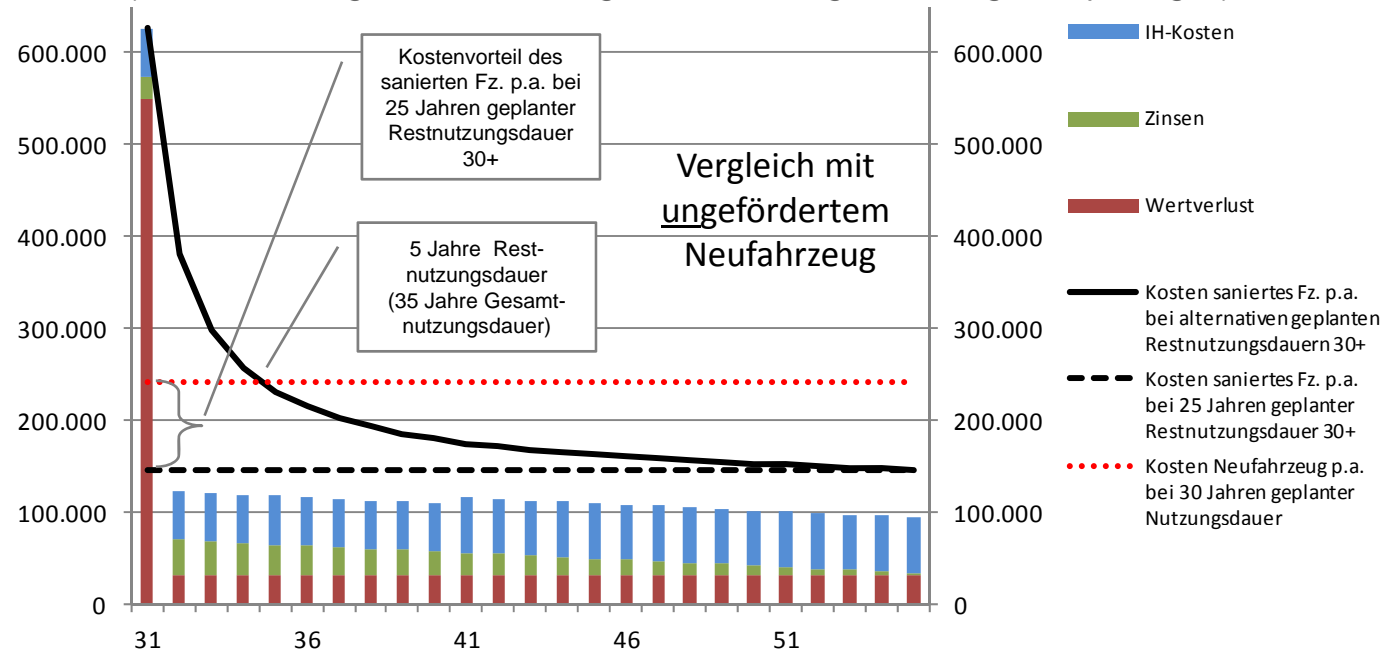
Instandhaltungskosten

**Umbau/Modernisierung/Sanierung**

Fazit

### Kostenverlauf bei alternativen Restnutzungsdauern

(ohne Förderung des Neufahrzeugs und ohne mögliche Energieeinsparungen)



- ⇒ Ab einer geplanten Restnutzungsdauer von 5 Jahren (Gesamtnutzung ab 35 Jahren) ist die Sanierung mit durchschnittlichen jährlichen Kosten von etwa 230 T€ p.a. wirtschaftlich vorteilhafter als eine Fahrzeugneubeschaffung mit Kosten von etwa 240 T€ p.a.
- ⇒ Bei einer geplanten Restnutzungsdauer des sanierten Fahrzeugs von 25 Jahren (Gesamtnutzung 55 Jahre) betragen die durchschnittlichen jährlichen Kosten etwa 147 T€ p.a. und damit etwa 93 T€ p.a. weniger als die Kosten eines ungeförderten Neufahrzeugs

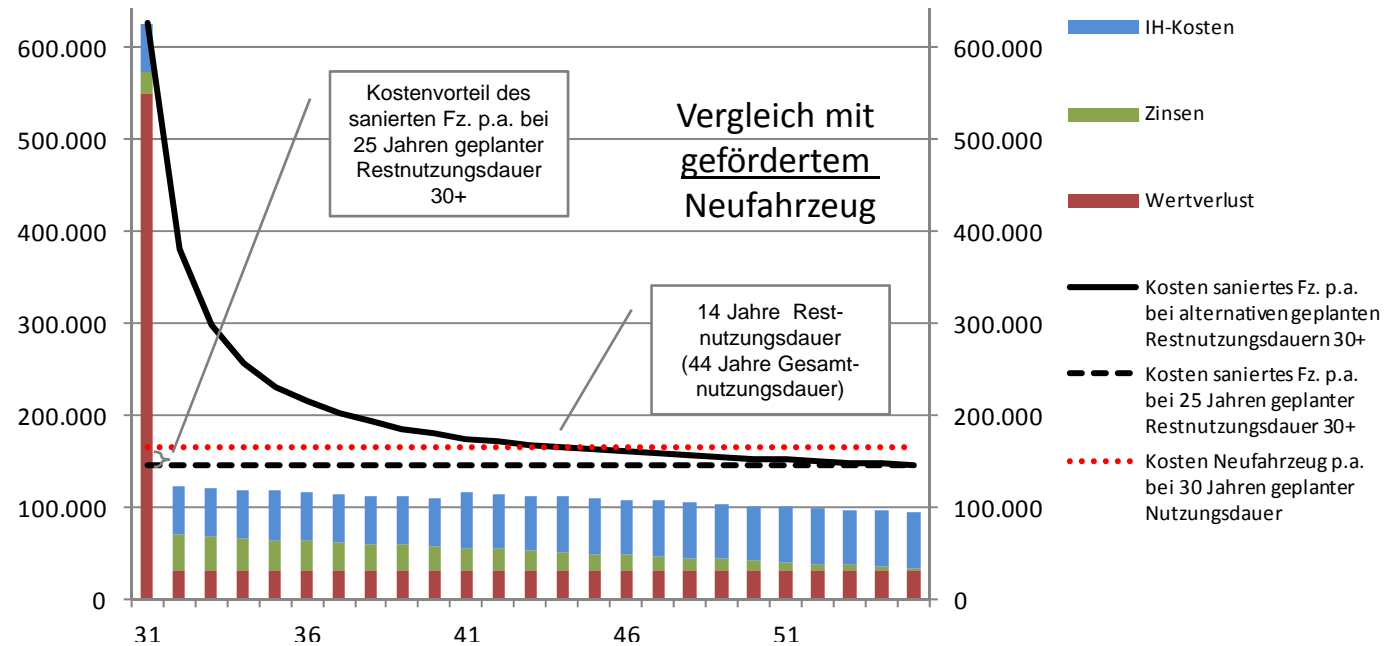
Instandhaltungskosten

**Umbau/Modernisierung/Sanierung**

Fazit

### Kostenverlauf bei alternativen Restnutzungsdauern

(mit 40%-iger Förderung des Neufahrzeugs und ohne mögliche Energieeinsparungen)



- ⇒ Bei einer 40%-igen Förderung des Neufahrzeugs ist diese Sanierung erst ab einer Restnutzungsdauer von 14 Jahren (Gesamtnutzung ab 44 Jahren) mit durchschnittlichen jährlichen Kosten von etwa 165 T€ p.a. wirtschaftlich vorteilhaft
- ⇒ Bei einer geplanten Restnutzungsdauer des sanierten Fahrzeugs von 25 Jahren (Gesamtnutzung 55 Jahre) betragen die durchschnittlichen jährlichen Kosten etwa 147 T€ p.a. und damit nur noch etwa 18 T€ p.a. weniger als die Kosten eines geförderten Neufahrzeugs

Ab einem Sanierungsaufwand von etwa 1,5 Mio. € kippt die Bewertung, so dass die Beschaffung eines geförderten Neufahrzeugs wirtschaftlich vorteilhafter wäre



## Fazit

---

Instand-  
haltungskosten

Umbau/  
Modernisierung/  
Sanierung

**Fazit**

- ⇒ Langjährige Erfahrungswerte sowie erprobte Methoden und Verfahren bieten eine gute Grundlage zur wirtschaftlichen Beurteilung und Steuerung der Fahrzeugkosten
- ⇒ Die Anwendung dieses Instrumentariums zur Erreichung tragfähiger Ergebnisse erfordert umfangreiche Objekt- und Prozesskenntnis, nicht zuletzt auch Augenmaß
- ⇒ Zur Weiterentwicklung der wirtschaftlichen Arbeitsgrundlage ist neben der Sammlung weiterer Erfahrungswerte
  - die Fortschreibung der VDV 882 sowie
  - die Entwicklung dynamischer Lebenszyklusmodelle anzustreben