

# Forschungsbericht

## Analyse und Gegenüberstellung der Vortriebsdauern von Einheitspreisvertrag und Allianzvertrag beim Druckwasserstollen des Projektes Gemeinschaftskraftwerk Inn



Universität der Bundeswehr München

Institut für Projektmanagement  
und Bauwirtschaft

Carl Philipp Friedinger, M.Eng.  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Philip Sander  
Simon Christian Becker, M.Sc.  
Dr.-Ing. Theresa Villingner

Universität der Bundeswehr München  
Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft  
Werner-Heisenberg-Weg 39 | 85577 Neubiberg  
<http://go.unibw.de/pmbw>

### Digital Performance Contracting Competence Center (DigiPeC)

gefördert durch das

Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr (dtec.bw)  
an der Universität der Bundeswehr München

### Langfassung

F02\_Neubiberg, Oktober 2022\_ISBN

#### Copyright 2023

Dieses Werk ist unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ CC BY- Lizenz 3.0 DE  
(Namensnennung 3.0 Deutschland) zugänglich,  
vgl. <https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/de/legalcode>

ISBN 978-3-943207-69-9





# EXECUTIVE SUMMARY

## Gegenstand der Analyse

Das Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft der Universität der Bundeswehr München wurde von der Tiroler Wasserkraft AG (TIWAG) mit der Untersuchung der Vortriebsdauern beim Druckwasserstollen des Projektes Gemeinschaftskraftwerk Inn (GKI) beauftragt.

Die Untersuchung analysiert und vergleicht die Ausführungsdauer bei Tunnelvortrieben eines konventionellen Einheitspreisvertrages (EPV) mit der eines Allianzvertrages (AV). Eine Betrachtung der Kosten ist nicht Gegenstand der Analyse. Untersuchungsgegenstand sind die Vortriebe des Triebwasserweges des Gemeinschaftskraftwerks Inn (GKI) unter Berücksichtigung der aufgetretenen Verzögerungen.

## Hintergrund

Kapazitätsengpässe, aus denen eine termingerechte Fertigstellung des Triebwasserweges nicht mehr absehbar war, führten zur einvernehmlichen Vertragsauflösung des zuerst ausgeführten Einheitspreisvertrages zwischen der GKI GmbH und dem Erstauftragnehmer (1.AN).<sup>1</sup> Dabei kam der EPV ab Baubeginn im Juni 2014 bis Februar 2017 zum Einsatz. Für die Untersuchung ist der Zeitraum ab Vortriebsbeginn im Oktober 2015 bis zur Vertragsaufhebung im Februar 2017 von Bedeutung. Die Baustelle wurde von einem zweiten Auftragnehmer (2.AN) offiziell am 16. Februar 2017 übernommen (vgl. Abbildung 1). Die Zusammenarbeit mit dem 2.AN basierte auf dem Allianzvertrag TIWAG.<sup>2</sup> Für die Fortsetzung des Bauvorhabens wurde die Bauleitung durch Personal des 2.AN ersetzt, während das Baustellenpersonal, die Baustelleneinrichtung und Lieferverträge etc. übernommen wurden. Für die Untersuchung ist der Zeitraum ab Vortriebsfortsetzung im April 2017 bis zum Vortriebsende im April 2019 bzw. Juli 2019 relevant.

## Projektbeschreibung

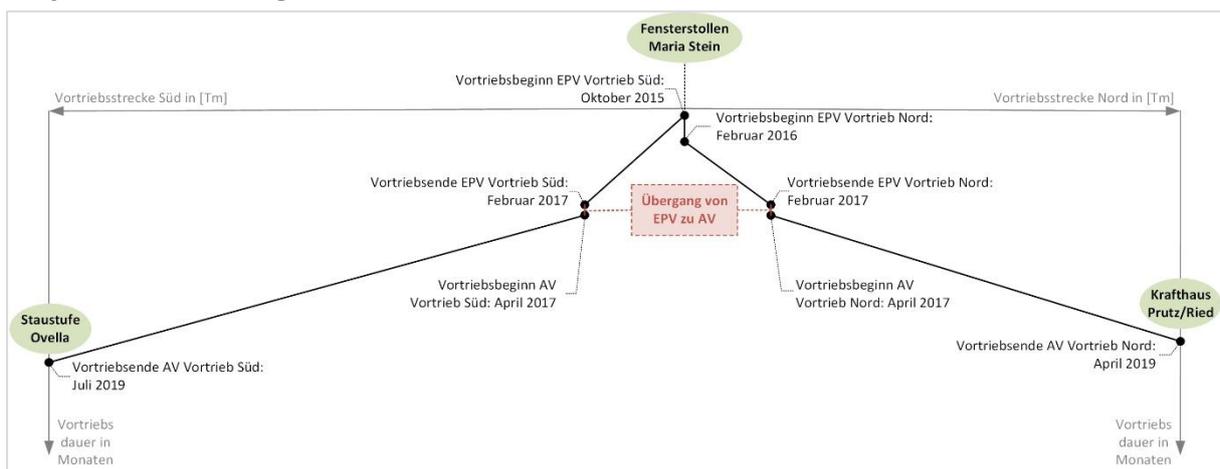


Abbildung 1: Weg-Zeit-Diagramm Vortriebe Maria Stein<sup>3</sup>

Das Baulos Maria Stein wurde in zwei Vortriebe aufgeteilt (vgl. Abbildung 1). Beide Vortriebe starteten zeitversetzt vom Fensterstollen Maria Stein aus. Der zuerst begonnene Vortrieb führt nach Süden in Richtung Ovella, wo sich die Staustufe des Kraftwerks befindet. Der später gestartete

<sup>1</sup> TIWAG 2017.

<sup>2</sup> Herdina 2020.

<sup>3</sup> Eigene Darstellung basierend auf den Ausführungsdaten

Vortrieb führt nach Norden zum Krafthaus in Prutz/Ried. Beide Vortriebe wurden jeweils mit einer eigenen Doppelschild-Tunnelbohrmaschine aufgeföhren. Die Gesamtlänge des Druckwasserstollens beträgt ca. 21,5 km. Das Ausbruchsvolumen beträgt ca. 610.000 m<sup>3</sup> bei einem Ausbruchsdurchmesser von ca. 6,53 m. In 9.246 Tübbingen à 1,66 m wurde 82.076 m<sup>3</sup> Tübbingbeton verbaut.<sup>4</sup>

## Forschungsfrage

Die übergeordneten Forschungsfragen der Untersuchung lauten:

- Wie kann eine einheitliche Basis für die Analyse der unterschiedlichen Vertragsmodelle definiert werden?
- Welche vertraglichen Ursachen bedingen die unterschiedlichen Vortriebsdauern im Vergleich der Vertragsmodelle?

## Vorgehensweise

Da in den Vortrieben nach Süden bzw. Norden jeweils beide Vertragsmodelle zum Einsatz gekommen sind, liegen keine durchgängigen Daten für beide Vertragsmodelle vor. Zur Vergleichbarkeit der Vertragsmodelle setzt sich das Analysemodell aus zwei Teilen zusammen:

1. Retrospektive Analyse der aufgeföhrenen Tunnelstrecken aus beiden Vortrieben, differenziert für die Vertragsmodelle EPV und AV (auf Basis vorliegender Daten wie Vortriebsprotokollen und Bautagesberichten)
  - a. Ermittlung der **Basisvortriebsdauer** für beide Vertragsmodelle
  - b. Ermittlung der **Verzögerung IST** für beide Vertragsmodelle
  - c. Probabilistische Ermittlung der **Verzögerung Logistik** für beide Vertragsmodelle
2. Probabilistische Ermittlung der nicht aufgeföhrenen Tunnelstrecken beider Vortriebe (**Verzögerung Prognose**), differenziert für die Vertragsmodelle EPV und AV. Dazu werden die Erkenntnisse aus 1. herangezogen.

Die Grundlage für Eingangsdaten der Simulation (probabilistische Analyse) wird aus der retrospektiven Analyse gewonnen. Die ermittelten Daten werden anschließend in Workshops durch die Projektleitung des GKI validiert. Die Simulation erfolgt probabilistisch in der Spezialsoftware RIAAT.

## Analyse der Risiken

Aus der retrospektiven Analyse und der darauf aufbauenden Prognose der Vortriebe lassen sich zwei Einflussfaktoren ableiten, die maßgeblichen Einfluss auf die Bauzeit bzw. Vortriebsdauer haben:

1. **Verzögerungen Logistik**
2. **vertragliche Anteil der Großereignisse**

Die **Verzögerung Logistik** umfasst hierbei alle Verzögerungen, die auf die Baustellenlogistik (Mängel im Gleiskonzept, Fehlfunktionen von Weichen oder Probleme im Entleerungsbereich der Entsorgungswaggons) zurückzuführen sind. Durch eine Optimierung der Baustellenlogistik im Zuge des Vertragswechsels fällt die **Verzögerung Logistik** im AV (deterministisch 2,8 [min/Tunnelmeter]) deutlich geringer aus als im EPV (deterministisch 23,2 [min/Tunnelmeter]).

---

<sup>4</sup> Wachter 2019

**Großereignisse** sind vom Vertragsmodell unabhängig auftretende Risiken, welche zu einem Vortriebsstillstand > 10 Tage führen. Der **vertragliche Anteil** der **Großereignisse** beschreibt die Zeit, die benötigt wird, um die Verantwortlichkeit zu klären. Im EPV wurde deutlich mehr Zeit (Anteil 20,5 %) benötigt, um die Verantwortlichkeit (**vertraglicher Anteil**) zu klären, als im AV (Anteil 0,1 %). Dies bedeutet, dass im AV umgehend nach dem Auftreten eines Problems technisch an der Problemlösung (**technischer Anteil**) gearbeitet werden konnte (vgl. Abbildung 2).

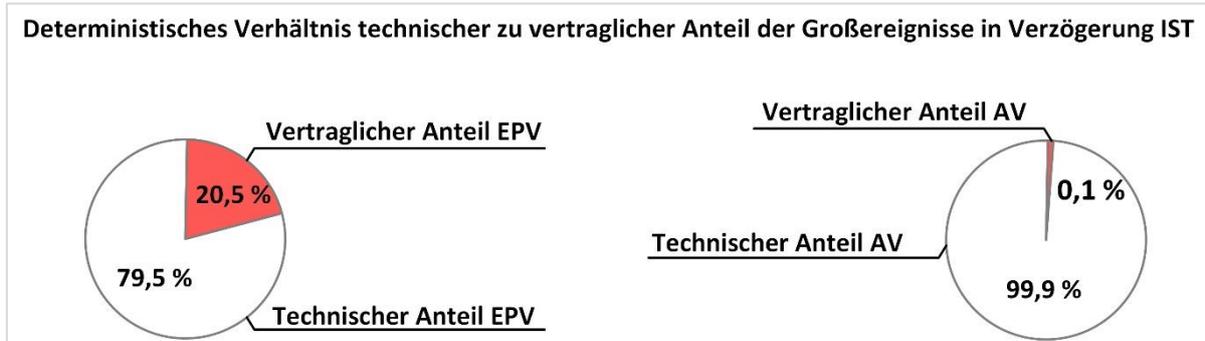


Abbildung 2: Deterministische Anteile **Verzögerung IST** Vortrieb Süd

### Vergleich der Vertragsmodelle

In Abbildung 3 ist vereinfacht der deterministische (det.) Vergleich der modellierten Vortriebsdauern der Vertragsmodelle EPV und AV für den vollständigen Vortrieb nach Süden dargestellt. Das zugrundeliegende Modell basiert auf einer probabilistischen Analyse. Einarbeitungseffekte im EPV werden egalisiert, sodass für beide Vertragsmodelle von einer gleichen **Basisvortriebsleistung** ausgegangen wird. Die **Verzögerung Logistik** wird nur im EPV berücksichtigt. Dies geschieht mittels Beaufschlagung der Differenz (dem Delta) der Vertragsmodelle. Deterministisch erhöht sich hierdurch die Vortriebsdauer des EPV um 171 Tage. Die **Verzögerung IST** stellt die eingetretenen **Verzögerungen** in der aufgefahrenen Strecke des jeweiligen Vertragsmodells dar. Diese wird für die **Verzögerung Prognose** des jeweils anderen Vertragsmodells herangezogen. Die **Verzögerung IST** des AV führt mit 181 Tagen zu einer **Verzögerung Prognose** von 226 Tagen im EPV. Andersherum reduziert sich die **Verzögerung IST** des EPV von 203 Tagen auf 163 Tage in der **Verzögerung Prognose** des AV.

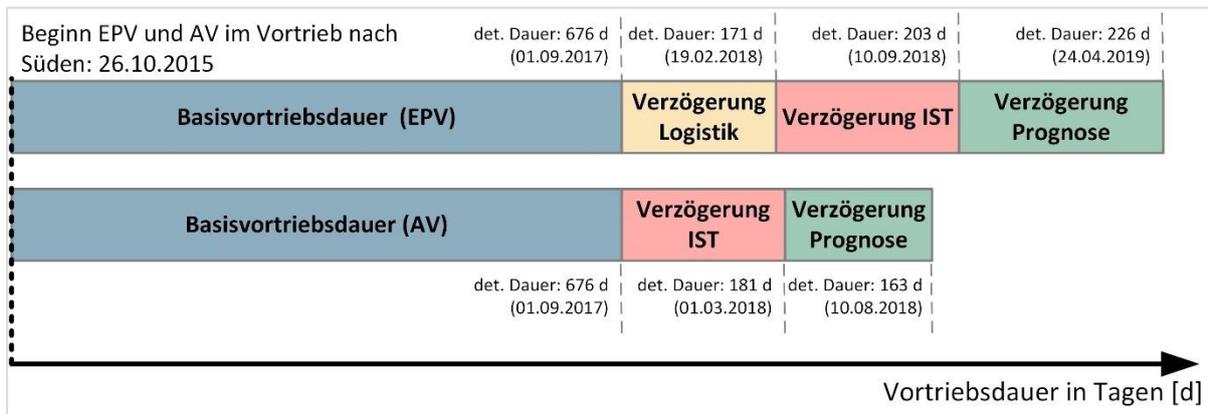


Abbildung 3: Modellierter Vortrieb Süd

## Ergebnisse

Aus der probabilistischen Analyse geht ein zeitlicher Vorteil des AV gegenüber dem EPV hervor. Abbildung 4 zeigt das probabilistische Ergebnis der Analyse. Bei vollständiger Projektumsetzung mittels des AV TIWAG wäre damit zu rechnen, dass die Bauzeit zwischen 14,7 % und 21,5 % geringer ausfallen würde, als bei einer vollständigen Projektumsetzung mittels des EPV.

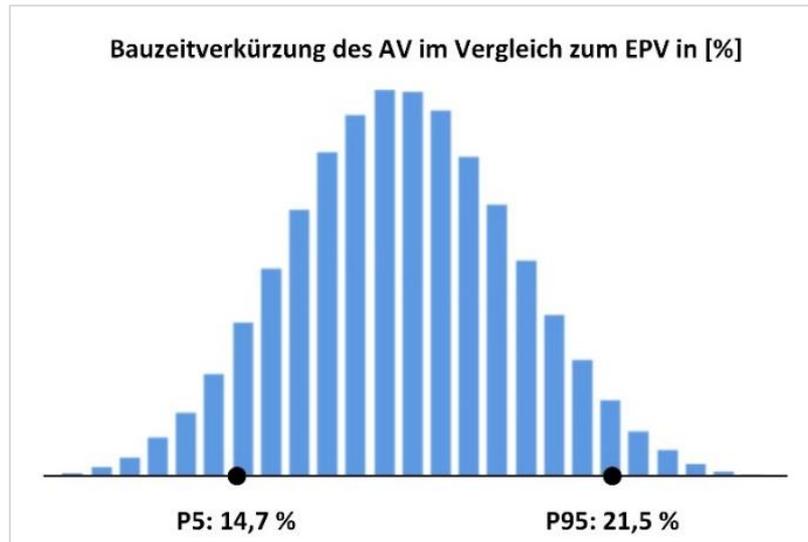


Abbildung 4: Verteilungsdichte Bauzeitverkürzung durch AV

Aus dem Ergebnis lässt sich auf ein effizienteres Handling der vertraglichen Verzögerungen aus Risiken und der Logistikproblemen im AV TIWAG schließen. Einen erheblichen Beitrag zum Ergebnis liefert die effizientere, weniger störungsanfällige Baustellenlogistik.

**Zusammenfassend lassen sich die folgenden Ergebnisse stichpunktartig darstellen:**

- Nur **0,1 %** vertraglicher Anteil an Verzögerungen durch Großereignisse im Allianzvertrag TIWAG (AV TIWAG) im Vergleich zu **20,5 %** im Einheitspreisvertrag (EPV) (in den Modellen des Vortriebs Süd). Zurückzuführen ist der Unterschied auf ein effizienteres Konfliktmanagement im AV.
- Ausfälle in der Baustellenlogistik (Verzögerung Logistik) im EPV sind für **28,5 %** aller modellierten Verzögerungen verantwortlich. Die Verzögerung Logistik hat einen Anteil von **13,4 %** an der Gesamtvortriebsdauer (im Modell des EPV Vortrieb Süd).
- Die im EPV real eingetretene Verzögerung IST wird in der Verzögerung Prognose des AV durchschnittlich **14,1 %** schneller abgewickelt.
- Daraus folgt eine generelle Bauzeitverkürzung durch den Allianz Vertrag TIWAG zwischen **14,7% und 21,5%**.

**Die aus dieser Untersuchung hervorgehenden Erkenntnisse sollen auch dazu beitragen vermehrt den Einsatz von projektspezifischen Anreizmechanismen und kooperativer Aspekte in zukünftigen Projekten anzuregen.**

*Das DigiPeC-Forschungsvorhaben – gefördert durch dtec.bw – bildet den Rahmen der von der Universität der Bundeswehr durchgeführten Untersuchung des Projekts Gemeinschaftskraftwerks Inn. DigiPeC hat die Erforschung der optimierten Abwicklung von Großprojekten zum Ziel und unterstützt öffentliche Auftraggeber bei der Vergabe und Entwicklung anreizorientierter Bauverträge.*

# Inhaltsverzeichnis

<b>EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>1</b>
<b>1 BETEILIGTE.....</b>	<b>7</b>
1.1 FORSCHUNGSPROJEKT DIGIPEC.....	7
1.2 KOOPERATIONSPARTNER.....	7
1.3 VERFASSER.....	7
<b>2 DRUCKWASSERSTOLLEN MARIA STEIN.....</b>	<b>9</b>
2.1 PROJEKTBSCHREIBUNG.....	9
2.2 PROJEKTHISTORIE.....	10
2.3 ERBRACHTE LEISTUNG.....	10
2.4 VERTRAGSMODELLE.....	11
<b>3 METHODIK UND MODELLAUFBAU .....</b>	<b>13</b>
3.1 SOFTWARE .....	13
3.2 METHODEN UNTERSUCHUNG .....	14
3.3 PROBABILISTISCHE SIMULATION.....	14
<b>4 MODELLAUFBAU .....</b>	<b>17</b>
4.1 BEGRIFFE.....	17
4.2 GENERISCHES MODELL .....	20
4.3 VORGEHENSWEISE BASISVORTRIEBSDAUER.....	22
4.4 VORGEHENSWEISE LOGISTIK .....	24
4.5 VORGEHENSWEISE VERZÖGERUNG IST .....	26
4.6 VORGEHENSWEISE VERZÖGERUNG PROGNOSE .....	28
<b>5 AUSWERTUNG .....</b>	<b>31</b>
5.1 BASISVORTRIEBSDAUER.....	31
5.2 KORREKTUR LOGISTIK.....	35
5.3 ANALYSE VERZÖGERUNGEN IST .....	40
5.4 ERMITTLUNG VERZÖGERUNGEN PROGNOSE .....	43
<b>6 ERGEBNISSE UND AUSWERTUNG .....</b>	<b>48</b>
<b>7 LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>51</b>
<b>8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>52</b>
<b>9 TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>53</b>
<b>ANLAGEN.....</b>	<b>55</b>



# 1 Beteiligte

## 1.1 Forschungsprojekt DigiPeC



Das DigiPeC-Forschungsvorhaben – gefördert durch dtec.bw – bildet den Rahmen des Projektes Gemeinschaftskraftwerk Inn. Von der dtec.bw wurde die Universität der Bundeswehr beauftragt, zahlreiche Untersuchungen durchzuführen.

DigiPeC hat die Erforschung der optimierten Abwicklung von Großprojekten zum Ziel und unterstützt öffentliche Auftraggeber bei der Vergabe und Entwicklung von anreizorientierten Bauverträgen.

## 1.2 Kooperationspartner



Die österreichische Tiroler Wasser AG, welche einen Anteil von 86,0% am Gemeinschaftskraftwerk Inn (GKI) hält, ist Auftraggeber gegenständlicher Untersuchung und hat hierfür die realen Projektdaten zur Verfügung gestellt.

### **TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG**

Eduard-Wallnöfer-Platz 2  
6020 Innsbruck  
<https://www.tiwag.at/>

## 1.3 Verfasser



Das Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft, unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. techn. Philip Sander, der Universität der Bundeswehr München forscht an den Schwerpunkten Projektorganisation und -management, Bauvertragsmanagement, Prozessmanagement sowie Kosten- und Risikomanagement. Beauftragt durch die TIWAG wurde das Los Vortrieb Druckstollen Maria Stein vom Institut hinsichtlich eines Vergleiches der beiden Vertragsmodelle untersucht.

Universität der Bundeswehr München  
Institut für Projektmanagement und Bauwirtschaft  
Werner-Heisenberg-Weg 39 | 85577 Neubiberg  
<http://go.unibw.de/pmbw>



## 2 Druckwasserstollen Maria Stein

### 2.1 Projektbeschreibung

Das Gemeinschaftskraftwerk Inn (GKI), gelegen im österreichisch-schweizerischen Grenzgebiet, ist ein gemeinsames Projekt der Enadinger Kraftwerke AG, die 14,0 % der Anteile des Kraftwerkes hält, und der österreichischen Tiroler Wasser AG (TIWAG), welche 86,0 % der Anteile hält. Geplant ist eine Jahresstromerzeugung von 440 GWh. Die geographische Lage ist in Abbildung 5 dargestellt.<sup>5</sup>



Abbildung 5: Gemeinschaftskraftwerk Inn<sup>6</sup>

Die Errichtung des GKI ist in drei Baubereiche unterteilt: die Wasserfassung bei Ovelta in der Schweiz, das Krafthaus in Prutz/Ried in Österreich und den Druckwasserstollen. Untersuchungsgegenstand dieser Stellungnahme ist die Vortriebsdauer des 21,5 km langen Druckwasserstollens. Der Vortrieb des mit Tübbing ausgekleideten 6,5 m breiten Stollens erfolgt durch zwei Tunnelvortriebsmaschinen (TVM). Beide TVM starten zeitversetzt vom Fensterstollen Maria Stein aus entgegengesetzt nach Süden und Norden. Die Vortriebsstrecke nach Norden in Richtung des Krafthauses beträgt ca. 8,9 km, die Vortriebsstrecke nach Süden, in Richtung der Wehranlage, beträgt ca. 12,7 km.<sup>7</sup>

Alle gegenständlichen Abbildungen und Werte beziehen sich, sofern nicht anders beschrieben, ausschließlich auf den Vortrieb nach Süden. Alle Analysen, Berechnungen und Prognosen die für den Vortrieb Süd durchgeführt werden, werden analog für den Vortrieb Nord abgewickelt und modelliert.

<sup>5</sup> Herdina 2019

<sup>6</sup> Herdina 2020

<sup>7</sup> Herdina 2020

## 2.2 Projekthistorie

Die Bauausführung des Druckstollens ist von Beginn an von Verzögerungen geprägt. Verzögerungen treten in der Planung, dem Genehmigungsverfahren, der Ausschreibung, den Vertragsverhandlungen sowie in der Ausführung auf. Der Baubeginn erfolgt zum 30. Juni 2014, anstatt wie geplant im Jahr 2013. Im März 2016 ist die Verzögerung des Vortriebs so groß, dass Gespräche zur Optimierung des Bauablaufes geführt werden. Eine Einigung gestaltet sich schwierig. Schließlich wird das Vertragsverhältnis des Einheitspreisvertrages (EPV) zwischen Auftraggeber (AG) und Erstunternehmer (1.AN) einvernehmlich zum 15.02.2017 beendet (vgl. Abbildung 6).

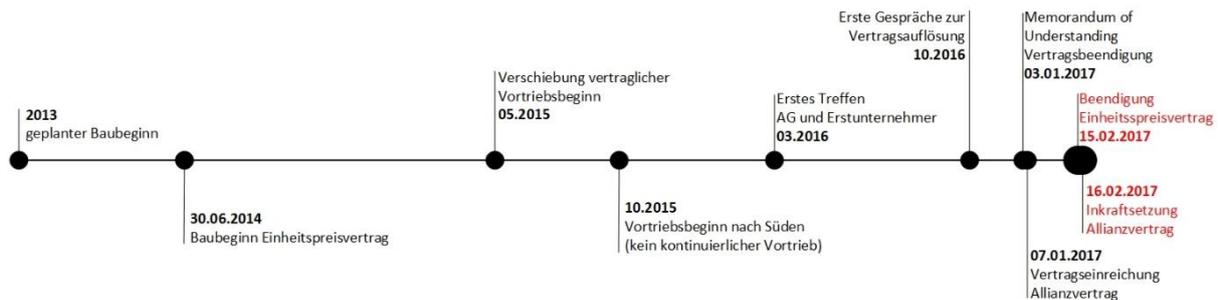


Abbildung 6: Zeitstrahl Baubeginn bis Beginn AV

Gleichzeitig mit den Gesprächen über die Vertragsauflösung mit dem 1.AN ab Oktober 2016 wurde bereits ein neuer Vertrag, ein so genannter Allianzvertrag (AV) mit dem Zweitunternehmer (2.AN), einer ARGE, verhandelt. Der Allianzvertrag wird am 07. Januar 2017 verabschiedet. Das gesamte Baustelleninventar wird durch den 2.AN übernommen. Am 16.02.2017 werden die Arbeiten im Baulos Maria Stein, unter Führung des 2.AN, fortgesetzt. Durch eine Optimierung der Baustelleninfrastruktur und ein späteres Anheben der Schneidräder können Verzögerungen des Bauablaufes größtenteils vermieden werden. Der Vortrieb mittels der TVM nach Süden kann am 10.07.2019, der nach Norden am 09.04.2019 abgeschlossen werden.<sup>8</sup>

## 2.3 Erbrachte Leistung

Der Druckstollen wird im kontinuierlichen Vortrieb durch zwei TVM aufgefahren. Das Los kann als klassische Tunnelbaustelle betrachtet werden. Tunnelbauten, die im kontinuierlichen Vortrieb vorangetrieben und mit Tübbingen ausgekleidet werden, haben die Eigenschaft, dass sich der Baufortschritt an der aufgefahrenen Strecke ablesen lässt. Das Los Marie Stein erfüllt diese Eigenschaften. Zeitlich versetzt wird von Maria Stein erst nach Süden und später nach Norden vorgetrieben (vgl. Abbildung 7).

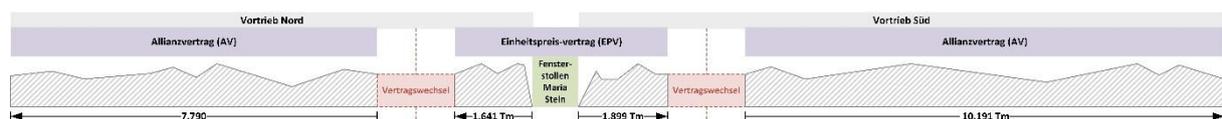


Abbildung 7: Gesamtortrieb

Eine Besonderheit und Einzigartigkeit stellt die Ausführung in zwei verschiedenen Vertragsmodellen in einem Projekt dar. Sowohl das Vertragsmodell eines Einheitspreisvertrages (EPV) als auch das Vertragsmodell eines Allianzvertrages (AV) haben im Vortrieb des Druckstollens Verwendung gefunden. Im Einheitspreisvertrag wurden, ausgehend vom Fensterstollen Maria Stein, 1.899 Tm

<sup>8</sup> GKI GmbH 2015-2019

nach Süden, in Richtung Orvella, und 1.641 Tm nach Norden, in Richtung Ried/Prutz, aufgefah-  
ren. Nach dem Wechsel des Auftragnehmers wurde der Vortrieb im Allianzvertrag fortgesetzt und  
die Strecke von 10.191 Tm nach Süden sowie 7.790 Tm nach Norden aufgefahren (vgl. Abbildung  
7).<sup>9 10</sup>

Die Verwendung zweier Vertragsmodelle in der Abwicklung eines Tunnelvortriebs ermöglicht ei-  
nen einmaligen Vergleich der in beiden Modellen erbrachten Leistungen. In beiden Vertragsmo-  
dellen erfolgt der Vortrieb mit der gleichen Logistik, den gleichen Mannschaften und Gerätschaf-  
ten. Lediglich die vertragliche Beziehung zwischen Auftraggeber und Zweitunternehmer unter-  
scheidet sich von der vertraglichen Beziehung zwischen Auftraggeber und Erstunternehmer.

Diese Konstellation lässt einen einmaligen direkten Vergleich der Leistungsfähigkeit der beiden  
Vertragsmodelle zu.

## 2.4 Vertragsmodelle

Durch die Kündigung des 1.AN während der Ausführung und Beauftragung des 2.AN mit der  
Fortsetzung der Ausführung wurden zwei Hauptverträge für die Errichtung des Druckwasser Stol-  
lens Maria Stein, der EPV und der AV, abgeschlossen-

### Einheitspreisvertrag (EPV):

Bei dem mit dem 1.AN geschlossenen EPV handelt es sich um einen Werkvertrag unter Verwen-  
dung der ÖNORM B 2110 für die Allgemeinen Vertragsbedingungen. Die ÖNORM B 2110 findet  
in Österreich regelmäßig bei der Beauftragung von Bauleistungen Anwendung. Gem. § 1151 All-  
gemeinen Bürgerlichen Gesetzbuch (ABGB) verpflichtet sich der Auftragnehmer dem Auftragge-  
ber gegenüber zur „Herstellung eines Werkes gegen Entgelt“. Der Auftragnehmer schuldet somit  
eine Leistung, das Bauwerk, der Auftraggeber dagegen schuldet das Entgelt. Im Einheitspreisver-  
trag ist das Entgelt - bezeichnet als Vergütung -, des für die Erbringung einer bestimmten Leistung  
vereinbarten Preises.<sup>11 12</sup>

### Allianzvertrag TIWAG (AV):

Der Allianzvertrag TIWAG wurde mit dem 2. AN abgeschlossen. Es handelt sich hierbei um einen  
Werkvertrag. Gem. § 1151 Allgemeinen Bürgerlichen Gesetzbuch (ABGB) verpflichtet sich auch  
hier der Allianzpartner (2.AN) dem Auftraggeber gegenüber zur „Herstellung eines Werkes gegen  
Entgelt“. Im Unterschied zum Einheitspreisvertrag wird im Allianzvertrag TIWAG jedoch folgen-  
des vereinbart.<sup>13 14 15</sup>

- Cost-plus-fee-Vergütungsmodell mit Bonus-Malus-Regelung,
- eine gemeinsame Organisationsstruktur, welche in vielen Bereichen eine gemeinsame  
Entscheidungsfindung vorgibt,
- eine mehrstufiger, standardisierter Konfliktlösungsprozess und
- die gemeinsame Verantwortung beim Eintritt festgelegter Risiken.

---

<sup>9</sup> GKI GmbH 2015-2019

<sup>10</sup> Heid Schiefer Rechtsanwälte 2017

<sup>11</sup> Herdina 2020

<sup>12</sup> Deutschmann et al. 2012

<sup>13</sup> Herdina 2020

<sup>14</sup> Heid Schiefer Rechtsanwälte 2017

<sup>15</sup> Deutschmann et al. 2012



### 3 Methodik und Modellaufbau

Das Kapitel Methodik und Modellaufbau beschreibt zuerst die angewandten Untersuchungsmethoden, um im Anschluss auf das entwickelte Modell einzugehen, das zum Vergleich von EPV und AV dient.

#### 3.1 Software



Abbildung 8: RIAAT-Logo

Die Datenerfassung erfolgt zunächst tabellarisch in Excel. Im nächsten Schritt werden die gesammelten Daten in die Software RIAAT (vgl. Abbildung 8) überführt. Probabilistische Modellierung und Prognostizierung wird ebenfalls durch die Software RIAAT ermöglicht. RIAAT bietet zur Modellierung und Analyse Monte-Carlo-Simulationen (MCS) und Latin Hypercube Sampling (LHS).<sup>16 17</sup>

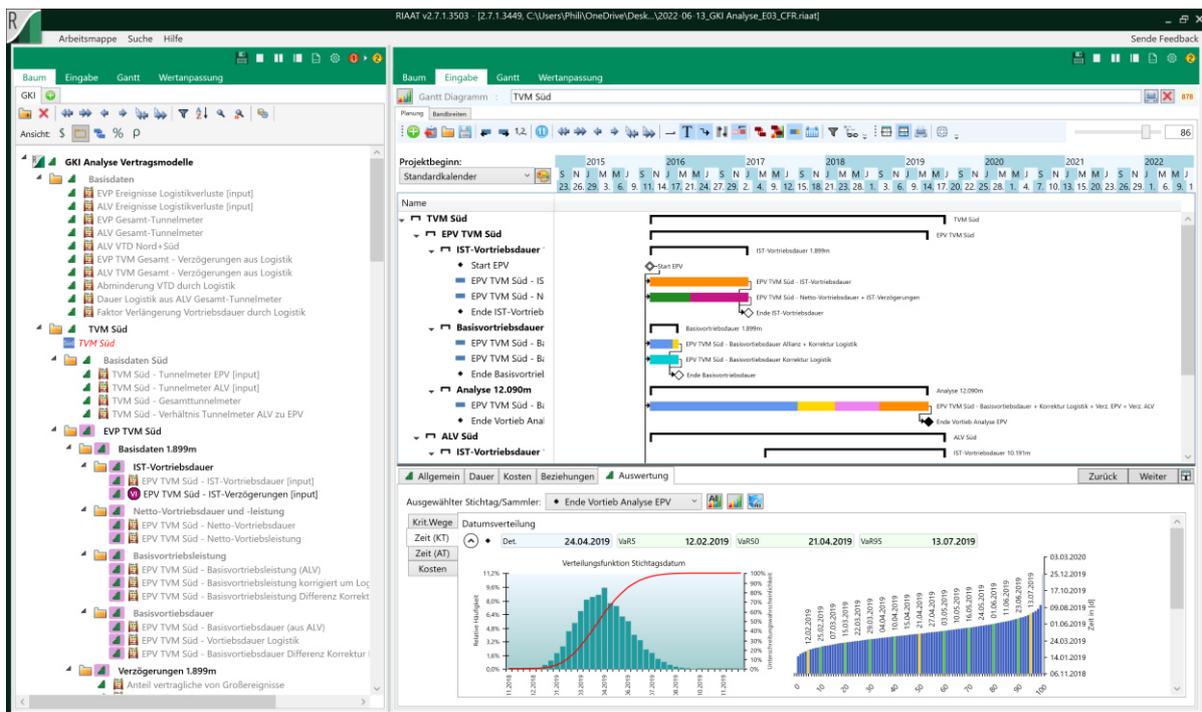


Abbildung 9: Digitales RIAAT Modell – Beispiel probabilistische Bauzeitanalyse

Das Ergebnis (das Modell aller Vortriebe) in der Benutzeroberfläche ist in einem Ausschnitt in Abbildung 9 dargestellt.

<sup>16</sup> Schneider et al. 2010

<sup>17</sup> Sander 2012

### 3.2 Methoden Untersuchung

Im Vier-Augenprinzip wird der Vortriebsstand jedes Bautagesberichtes für den EPV sowie den AV geprüft. Hierdurch lassen sich alle Tage, im Rahmen einer retrospektiven Terminplanuntersuchung in Vortriebstage und Stillstandstage unterscheiden (vgl. Abbildung 10). Zur Validierung der Auswertung wird die retrospektive Untersuchung mit den Daten der Vortriebsdokumentation verglichen und anschließend mit der Projektleitung GKI abgestimmt.

Auch zur Ursachenprüfung der Stillstände werden die Bautagesberichte herangezogen. Anschließend erfolgt die Validierung der Zuordnung mit der Projektleitung GKI.



Abbildung 10: Generischer Modellaufbau und Methodik

Basierend auf den gewonnenen Daten wird, unter der Verwendung der Software RIAAT, ein digitales Modell für jeden Vortrieb erstellt. Die generierten Modelle werden als Ausgangsbasis für den Vergleich der Vortriebsdauern beider Vertragsmodelle verwendet. Mittels probabilistischer Abschätzungen und Prognosen können Vortriebe modelliert werden, die im jeweils anderen Vertragsmodell ausgeführt wurden. Hierdurch ist probabilistische Terminplanprognose der Vortriebsdauern bei vollständiger Projektabwicklung im Vertragsmodell des EPV oder in der des AV möglich (vgl. Abbildung 10).

### 3.3 Probabilistische Simulation

Das entwickelte Modell soll den Wissensstand über die Realität möglichst genau abbilden. Eine Darstellung von Verzögerungen mittels deterministischer Punktschätzung reduziert diese auf einen spezifischen Wert. Diese Reduzierung ist praktisch betrachtet wenig sinnvoll, da sie ein unrealistisches Modell für die Prognostizierung von Bauzeiten produziert. Die in der Untersuchung ermittelten Ergebnisse werden deshalb für die Prognose mit Bandbreiten hinterlegt, um in der Modellierung ein realistisches Modell zu generieren. Hierfür werden Verteilungsfunktionen herangezogen, die die Realität abbilden können.<sup>18 19</sup>

In RIAAT können Daten - in dieser Untersuchung Dauer in Tagen [d] - deterministisch als Punktwert oder unter Verwendung von Verteilungsdichten eingegeben werden. In Abbildung 11 sind drei Eingabemöglichkeiten dargestellt. Neben der Eingabe deterministischer Punktwerte kann das Programm Verteilungsfunktionen nach Festlegung der Verteilungsdichten berechnen. Dies geschieht durch Eingabe des Minimums (Min.), Erwartungswerts (Erw.) sowie des Maximums (Max.). Exemplarisch werden hier diese in Dreiecksverteilung, sowie Beta-PERT abgebildet.<sup>20</sup>

<sup>18</sup> Sander 2012, Seite19

<sup>19</sup> Gürtler 2007, Seite 183f

<sup>20</sup> Sander 2012

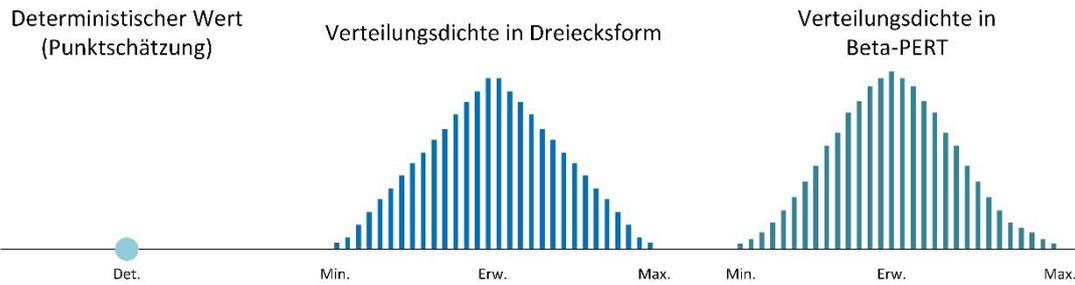


Abbildung 11: Eingabe in RIAAT

Abbildung 12 links die Verteilungsdichte und die dazugehörige Verteilungsfunktion (rote Linie) dargestellt, welche auf der Aggregation von Beta-PERT-Verteilungen und Punktschätzungen basiert. Die Verteilungsdichte stellt die Eintrittswahrscheinlichkeiten möglicher Dauern dar. Eine andere Art der Visualisierung von Wahrscheinlichkeit ist in

Abbildung 12 rechts ist die Lorenzkurve dargestellt. Aus dieser können die Werte der Unterschreitungswahrscheinlichkeit (Quantilwerte) direkt abgelesen werden.<sup>21</sup>

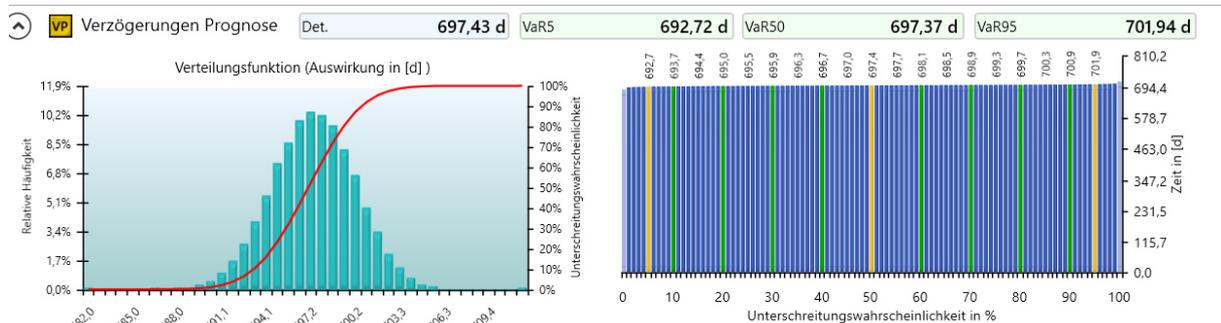


Abbildung 12: Verteilungsfunktion und Lorenzkurve

Ziel ist es ein realitätsgetreues Abbild der jeweiligen Vertragsabwicklungsmodelle zu entwickeln. Dementsprechend werden im Modell gezielt die Eingabewerte, die – aufgrund ihrer vorhandenen Unschärfe – nicht deterministisch abgeschätzt werden können mit Bandbreiten bewertet. Für die Modellierung wurde die Verteilungsdichte der erweiterten Beta-PERT-Funktion gewählt. Diese lässt die der Realität am nächsten kommende Modellierung zu.<sup>22 23</sup> Die Wahl einer „erweiterten“-Funktion ermöglicht die Simulation von Szenarien außerhalb des erwarteten Min. und Max. Spektrums und generiert somit ein deutlich valideres Modell.<sup>24</sup>

Im Modell wird der Tunnelvortrieb „imaginiert“ durchgeführt. Der „Nachbau“ bzw. die Modellierung wird im Hintergrund des Programms‘ RIAAT bis zu einhunderttausendmal durchgeführt.

Die Simulation verwendet die erweiterte Beta-PERT-Funktion. Die aus der retrospektiven Analyse gewonnen Eingabedaten werden für die Prognose mit einer Bandbreite hinterlegt. So können Verteilungsdichten ermittelt werden. Diese treffen eine Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeiten der Vortriebsdauern in beiden Vertragsmodellen.

<sup>21</sup> Sander 2012, Seite 30

<sup>22</sup> Sander 2012, Seite 23

<sup>23</sup> Schneider et al. 2010

<sup>24</sup> Girmscheid 2011



## 4 Modellaufbau

Es wird empfohlen das Kapitel 4 in Zusammenschau mit Anlage 4 zu lesen.

Gegenständliche Stellungnahme dient der Herstellung der Vergleichbarkeit der Vortriebsdauern im Einheitspreisvertrag und Allianzvertrag mittels digitaler Modelle. Nachfolgendes Kapitel erläutert das entworfene Modell. Zuerst werden die verwendeten Begriffe erläutert, anschließend wird die Funktionsweise des Modelles dargestellt, um darauffolgend die Zusammensetzung jedes Modellbausteins zu erläutern.

### 4.1 Begriffe

Gegenständliche Stellungname verwendet spezifische Begriffe. Nachfolgende Tabelle ist der Definition dieser Begriffe gewidmet.

Tabelle 1: Begriffe

Abgänge	Anteil der IST Verzögerung: Tage an denen der Vortrieb aufgrund des Oster- oder Weihnachtsurlaubes planmäßig ruht.
Allianzvertrag TIWAG/ Allianzmodell / Allianzvertrag	Ein mit dem 2.AN geschlossener Werkvertrag der einige Besonderheiten aufweist:  Cost-plus-fee-Vergütung, Bonus-Malus-Regelung, gemeinsam getragene Risiken, mehrstufiger Konfliktlösungsprozess, gemeinsame Organisationsstruktur.
Außerordentliche Wartungen	Anteil der IST Verzögerung: Tage an denen unplanmäßig der Vortrieb unterbrochen wird, um Wartungen an der TVM durchzuführen. Dauer > 10 Tage.
AV	Abkürzung Allianzvertrag TIWAG: mit dem 2.AN geschlossener Werkvertrag.
Basisvortriebsdauer	Dauer, die im jeweiligen Vertragsmodell benötigt wird, um den Vortrieb vollständig durchzuführen, sofern keine Verzögerungen eintreten.
Basisvortriebsleistung	Quotient Basisvortriebsdauer und der in einem Vertragsmodell aufgefahrene Tunnelstrecke.
Baustellenlogistik	Planung, Bereitstellung und Einsatz von Gleisen, Weichen, Fahrzeugen, etc., die zum Abtransport des Ausbruches benötigt werden. Hierzu werden die TBM, deren Nachläufer, Weichen (California Weiche), Gleisanlagen und der Bereich zum Entleeren der Entsorgungswagen gezählt.
Beta-PERT-Funktion	Zur Modellierung verwendete Wahrscheinlichkeitsverteilung. Werteingabe erfolgt wie bei einer Dreiecksverteilung.

Bonus-Malus	Ein System, das mit positiven und negativen Anreizen das gewünschte Verhalten erreichen möchte und somit eine Art der „Steuerungsfunktion“ auf Basis des Verursacherprinzips ausübt.
Cost-Plus Fee	Bei diesem Vertragsmodell wird der Auftraggeber in die Planung und in kostenrelevante Entscheidungen mit einbezogen. Er zahlt dem Auftragnehmer, der seine Kalkulation offen vorlegt, einen bestimmten Prozentsatz ( <b>fee</b> ) auf die mit der Bauwerkserrichtung verbundenen Kosten.
EPV	Abkürzung Einheitspreisvertrag: mit dem 1.AN geschlossener Werkvertrag.
Erweiterte-Beta-PERT-Funktion	Das eingegebene Min. und Max. werden nicht als 0 % bzw. 100 % Perzentil angenommen, sondern nach innen gerückt. Die Bandbreite wird dadurch erweitert und realitätsnäher. In dieser Ausarbeitung wurde bei der Verwendung dieser Funktion das Minimum auf 10 % und das Maximum auf 90 % festgesetzt.
Großereignis	Ein Ereignis, das aufgrund seiner Bedeutung große Verzögerungen mit sich zieht: an denen, der Vortrieb für einen Zeitraum von mehr als 10 Tagen unterbrochen ist und nicht auf die Baustellenlogistik zurückzuführen ist.
IST Verzögerung	Summe aller geplanten und ungeplanten Stillstandstage eines Vertragsmodells.
IST Vortriebsdauer	Anzahl an Tagen an den in einem Vertragsmodell ein Vortrieb möglich ist. Beginnt mit dem Vortriebsbeginn und endet mit dem Vertragsende bzw. Vortriebsende.
Netto Vortriebsdauer	Anzahl an Tagen, an denen tatsächlich ein Vortrieb stattfindet.
Planmäßige Wartungen	Tage an denen planmäßig der Vortrieb ruht, um Wartungen an der TVM durchzuführen.
RIAAT	Software zur probabilistischen Modellierung von Bauprojekten. Software die für die Modellierung gegenständlicher Stellungnahme verwendet wurde.
Stillstandstag	Tag, an dem kein Vortrieb stattgefunden hat.
Technischer Anteil	Anzahl an Tagen eines Großereignisses, die benötigt werden um den technischen Hintergrund einer Vortriebsunterbrechung zu beseitigen.
Tunnel Süd	Bezeichnet den Tunnelvortrieb vom Fensterstollen Richtung Süden, in Richtung Schweiz, zum Staubecken Orvella.

Tunnel Nord	Bezeichnet den Tunnelvortrieb vom Fensterstollen Richtung Norden, in Richtung Krafthaus Prutz/Ried.
Vertraglicher Anteil	Anzahl an Tagen eines Großereignisses, die benötigt werden um Verantwortlichkeit für den Eintritt des Ereignisses zwischen AG und AN zu ermitteln.
Vertragsmodell/ Projektentwicklungsmodell	Durch den Vertrag zwischen AG und AN konstruierte Beziehung bzw. Arbeitsverhältnis.
Verzögerung	Tag an dem der Vortrieb wegen Verzögerung nicht stattgefunden hat.
Verzögerung IST	Summe der im jeweiligen Vertragsmodell tatsächlich aufgetretene und in der Modellierung berücksichtigten Verzögerungen pro Tunnelmeter aus Großereignissen und außerordentlicher Wartung.
Verzögerung Logistik	Im jeweiligen Vertragsmodell durchschnittliche auftretende Verzögerungen pro Tunnelmeter, die auf die Baustellenlogistik zurückzuführen ist. Hierzu zählen Verzögerungen die im Zusammenhang mit der TBM und deren Nachläufern, den Gleisanlagen, California Weichen, der dem Entleerungsbereich der Entsorgungswagen stehen.
Verzögerung aus Logistik	Durchschnitt der in der retrospektiven Analyse, der Logistik zugeordneten, Verzögerungen. Hierzu zählen Verzögerungen die im Zusammenhang mit der TBM und deren Nachläufern, den Gleisanlagen, California Weichen und dem Entleerungsbereich der Entsorgungswagen stehen.
Verzögerung durch Logistik	In der retrospektiven Analyse ermittelte Anzahl und Dauer der Verzögerungen, die der Logistik zugeordnet sind. Hierzu zählen Verzögerungen die im Zusammenhang mit der TBM und deren Nachläufern, den Gleisanlagen, California Weichen und dem Entleerungsbereich der Entsorgungswagen stehen.
Verzögerung Prognose	Prognose der Verzögerungen der im jeweiligen Vertragsmodell nicht aufgefahrene Tunnelstrecke.
Vortriebstag	Tag an dem mindestens 1cm Vortrieb dokumentiert wurde.

## 4.2 Generisches Modell

Ziel der Untersuchung ist ein Vergleich der Leistungsfähigkeit der am GKI eingesetzten Vertragsmodelle: dem Einheitspreisvertrags (EPV) und dem Allianzvertrages TIWAG (AV). Als Kenngröße der Leistungsfähigkeit wird die Bauzeit festgelegt. Ein direkter Vergleich der Bauzeiten ist nicht möglich, da die beiden Vertragsmodelle zwar im gleichen Projekt, aber nicht zur gleichen Zeit und für die gleichen Streckenabschnitte eingesetzt wurden. Der Aufbau des Modells zielt darauf ab, diese Unterschiede zu egalisieren und eine vergleichbare Basis zu schaffen. Eine vergleichbare Basis wäre ein vollständiger Vortrieb unter Einsatz nur eines Vertragsmodells in eine Richtung. Die im Rahmen dieser Untersuchung entwickelte, vergleichbare Basis ist in Abbildung 13 abgebildet. Die Ermittlung der **Basisvortriebsdauer**, **Verzögerung Logistik**, **Verzögerung IST** greifen auf die Daten der retrospektiven Bauzeituntersuchung zurück. Diese sind im jeweiligen Vertrag und Abschnitt der Tunnelstrecke verifiziert. Im Gegensatz dazu stellt die **Verzögerung Prognose** ein Abbild der vom Modell probabilistisch prognostizierten auftretenden Bauzeitverlängerung (Bauzeitprognose) bzw. Verzögerungen für die jeweils nicht aufgefahrene Tunnelstrecke dar.

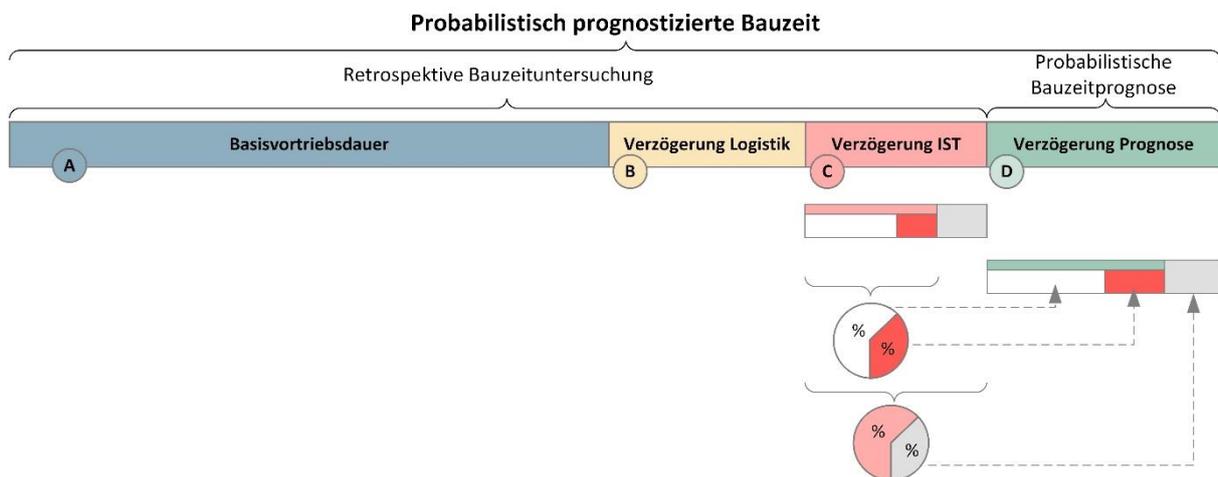


Abbildung 13: Generisches Modell

Die Schritte **A**, **B**, **C** der Abbildung 13 werden im Folgenden beschrieben:

- Im Schritt **A** erfolgt die Ermittlung der **Basisvortriebsdauer**:  
Die **Basisvortriebsdauer** entspricht der Dauer, basierend auf der durchschnittlich erbrachten Leistung (in Tagen [d]), die der Vortrieb in Anspruch genommen hätte, wenn alles nach Plan verlaufen und keine Verzögerungen eingetreten wären. Im Schritt **A** erfolgt zunächst die Trennung nach Vortriebsdauer, Vortriebstage und Stillstandstage. Die Stillstandstage werden für die nächsten Schritte kategorisiert. Die Vortriebstage werden auf die aufgefahrene Tunnelstrecke bezogen. Dadurch ergibt sich die **Basisvortriebsleistung**. Bezieht man die **Basisvortriebsleistung** auf die gesamte aufzufahrende Tunnelstrecke eines Vortriebs, so ergibt sich hieraus die **Basisvortriebsleistung** des entsprechenden Vertragsmodelles für den entsprechenden Vortrieb.
- Im Schritt **B** erfolgt die Ermittlung der **Verzögerung Logistik**:  
Die **Verzögerung Logistik** erhöht die **Vortriebsdauer** um die Summe der Verzögerungen, die auf Störungen in der Baustellenlogistik oder im Bauablauf zurückzuführen sind. Folglich wird die **Basisvortriebsleistung** durch die **Verzögerung Logistik** reduziert. Die der **Verzögerungen Logistik** zugeordnete Anzahl an Ereignissen sowie die durchschnittliche Dauer dieser Ereignisse werden jeweils mit einer Brandbreite hinterlegt. Durch die Aggre-

gation der beiden Werte ergibt sich die durchschnittliche Verzögerung in Minuten pro Tunnelmeter, bezogen auf einen vollständigen Tunnelvortrieb in einem Vertragsmodell. Die berechnete Verzögerung wird von der Vortriebsleistung abgezogen. Die reduzierte Vortriebsleistung wird auf die gesamte vorzutreibende Tunnelstrecke bezogen. Hieraus ergibt sich die **Vortriebsdauer [d] inkl. der Verzögerung Logistik**.

- Im Schritt **C** erfolgt die Ermittlung der **Verzögerung IST**:  
Die **Verzögerung IST** erhöht die **Basisvortriebsdauer** um die Dauer der tatsächlich eingetretenen **Großereignisse** (Verzögerungen größer als 10 Tage) sowie um die Dauer der **außerordentlichen Wartungen**. Im Rahmen der Untersuchung wird der **technische** und **vertragliche Anteil** der **Großereignisse** bestimmt und zueinander ins Verhältnis gesetzt. Ebenso werden die **Großereignisse** zur **außerordentlichen Wartung** in Relation zueinander gesetzt. Diese Verhältnisse finden Eingang in die Berechnungen im Schritt **D**.
- Im Schritt **D** erfolgt die Ermittlung der **Verzögerung Prognose**:  
Die **Verzögerung Prognose** stellt die aus dem Modell generierte Verzögerung für die im jeweiligen Vertragsmodell und Vortriebsabschnitt nicht aufgefahrene Tunnelstrecke dar. Die **Verzögerung IST** setzt sich hierbei aus dem **technischen Anteil** der **Großereignisse** mit deren **vertraglichen Anteil** der **Großereignisse**, sowie dem Anteil der **außerordentlichen Wartung** (Anteile werden im Schritte **C** ermittelt) zusammen.

Für jeden der beiden Vortriebe (nach Norden und Süden) wird für beide Vertragsmodelle je ein eigenes Teilmodell angelegt. So entstehen die vier Teilmodelle, die entsprechend der in diesem Kapitel beschriebenen Schritten aufgebaut sind:

- Vortrieb Süd EPV
- Vortrieb Nord EPV
- Vortrieb Süd AV
- Vortrieb Nord AV

Die gegenständliche Ausarbeitung stellt im folgenden Kapitel meist exemplarisch die deterministischen Ergebnisse der Vortriebe nach Süden dar. Die Abbildungen können jedoch auch analog auf den Tunnel Nord bezogen werden.

### 4.3 Vorgehensweise Basisvortriebsdauer

Die Analyse und Kategorisierung des Vortriebs erfolgt durch Prüfung der Bautagesberichte der Auftragnehmer. Diese Ergebnisse werden mit der Protokollierung des Vortriebsstandes des Auftraggebers abgeglichen. Beide Schritte erfolgen im „Vier-Augen-Prinzip“. Anschließend werden die Ergebnisse der Projektleitung GKI vorgestellt und mit dieser abgestimmt.

Die **Basisvortriebsdauer** bezeichnet die Dauer, die benötigt wird, um den Tunnelvortrieb vollständig auszuführen, für den Fall, dass keine Verzögerungen auftreten. Abbildung 14 stellt die einzelnen Schritte der Ermittlung der **Basisvortriebsdauer** dar, welche in diesem Kapitel im Einzelnen beschrieben werden.

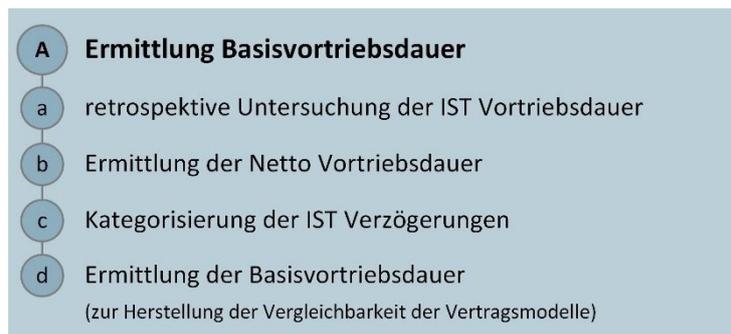


Abbildung 14: Ablauf Basisvortriebsdauer

Abbildung 15 stellt die Visualisierung der in Abbildung 14 genannten Schritte a, b, c und d dar.

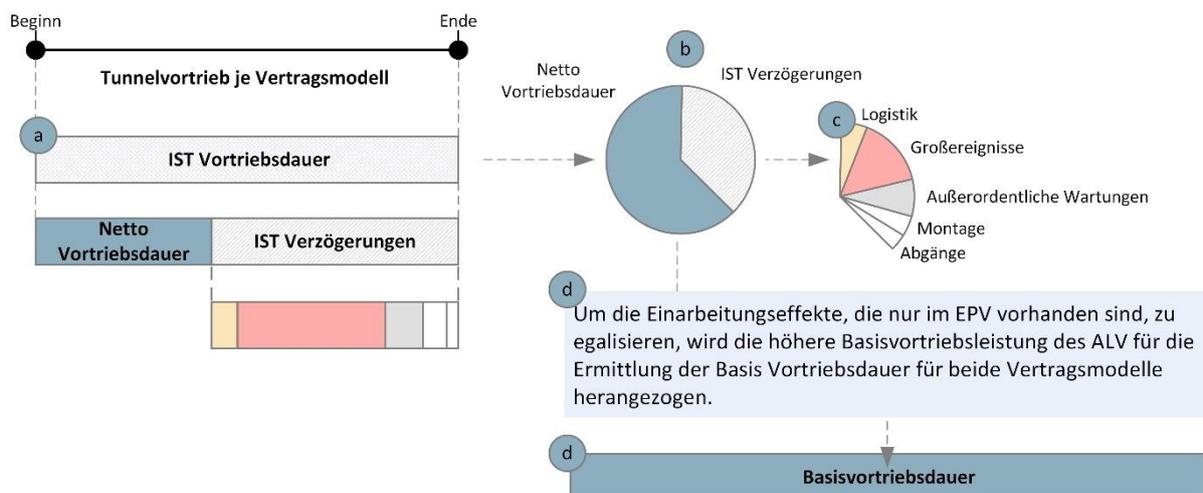


Abbildung 15: Visualisierung Ermittlung Basisvortriebsdauer

#### a) retrospektive Untersuchung der IST Vortriebsdauer:

Im ersten Schritt erfolgt eine retrospektive Untersuchung der Ausführungsdaten beider Vortriebe in beiden Vertragsmodellen. Ausgangsbasis bildet die **IST Vortriebsdauer**: die Dauer von Vortriebsbeginn bis Vortriebsende. Sie umfasst alle Vortriebstage und Verzögerungen und bezeichnet die Dauer, die einem Vertragsmodell zur Durchführung des Vortriebs zur Verfügung stand. Die Einteilung der tatsächlichen Vortriebstage in die Kategorien erfolgt durch eine Betrachtung der Vortriebsleistungen jedes einzelnen Projekttages.

#### b) Ermittlung der Netto Vortriebsdauer:

Die **IST Vortriebsdauer** wird in beiden Vertragsmodellen und für beide Vortriebe analysiert und in die **Netto Vortriebsdauer** sowie die **IST Verzögerungen** unterteilt. Alle Tage an denen ein Vortrieb stattgefunden hat, werden der **Netto Vortriebsdauer** zugerechnet.

Alle Tage an denen kein Vortrieb stattfand, sogenannte Stillstandstage, sind der **IST Verzögerung** zuzuordnen.

c) Kategorisierung der **IST Verzögerungen**:

Die **IST Verzögerung** wird in weitere Unterkategorien untergliedert. Die Kategorisierung und Zuordnung erfolgt im Vier-Augen-Prinzip und anschließender Abstimmung im Rahmen von Workshops mit der Projektleitung des GKI. Die **IST Verzögerung** wird in die Bestandteile Verzögerungen durch **Logistik**, **Großereignisse**, **planmäßige Wartungen**, **außerordentliche Wartungen**, **Abgänge** sowie **Montage** untergliedert. Für diese sind die nachfolgenden Definitionen festgelegt:

- Verzögerungen durch **Logistik** fasst alle Stillstände zusammen die sich auf logistische Defizite, wie technische Probleme der Gleisanlagen oder Defizite im Organisationsablauf zurückführen lassen. Hierzu zählen Stillstände auf Grund eines Wechsels der Tunnelvortriebsmaschine (TVM), unterschiedliche Schichtbetriebe, Stillstände auf Grund des defizitären Gleiskonzeptes, Wartungsarbeiten an Weichen und Verklemmungen am Gleis.
- Verzögerungen durch **Großereignisse** bezeichnet alle Stillstände, welche eine Dauer von mehr als 10 Tagen aufweisen. Der Grund der Verzögerung steht in Zusammenhang mit äußeren, von keiner Seite zu vertretenden, Umständen.
- Als **planmäßige Wartungen** werden die Verzögerungen bezeichnet, die bereits in der Bauablaufplanung zur Wartung und damit zur Sicherstellung des kontinuierlichen Betriebes der TVM einkalkuliert wurden.
- Als **außerordentliche Wartung** werden alle Verzögerungen kategorisiert die, zusätzlich zur planmäßigen Wartung, d.h. zur Instandhaltung der TVM aufgetreten sind und eine Dauer von < 10 Tagen aufweisen.
- Verzögerungen durch **Abgänge** bezeichnet Zeiten in denen planmäßig kein Personal für den Vortrieb zur Verfügung stand. Als Beispiel ist hier der „Weihnachtsurlaub“ zu nennen.
- Die Verzögerung durch **Montage** bezeichnet den Auf- und Zusammenbau der TVM vor dem Vortriebsbeginn. Diese Verzögerung durch Montage ist nur im EPV aufgetreten.

Verzögerungen der Kategorien **Abgänge**, **Montage** und **planmäßige Wartung** sind vom Vertragsmodell unabhängige, für den Vortrieb unabdingbare Verzögerungen und werden daher in der weiteren Modellierung nicht betrachtet.

Die Verzögerungen der Kategorien **Logistik**, **Großereignis** und **außerordentliche Wartung** werden in den Kapiteln ‚Vorgehensweise Logistik‘, ‚Vorgehensweise Verzögerung IST‘ und ‚Vorgehensweise Prognose‘ aufgegriffen und weiterverwendet.

d) Ermittlung der **Basisvortriebsdauer**:

Die **Basisvortriebsdauer** wird über die **Netto Vortriebsleistung** ermittelt. Um diese zu erhalten, wird die aufgefahrene Tunnelstrecke durch die **Netto Vortriebsdauer** im jeweiligen Vortrieb sowie Vertragsmodell dividiert. Da Einarbeitungseffekte nur im EPV zu erwarten waren, wurde – um Vergleichbarkeit zu gewährleisten – in der späteren Modellbetrachtung die höhere **Basisvortriebsleistung** und damit die geringere **Basisvortriebsdauer** allen Modellen zu Grunde gelegt.

Die Vortriebsdauer für das vollständige Auffahren eines Vortriebs, bei idealen und optimalen Verhältnissen und ohne Verzögerungen wird als **Basisvortriebsdauer** bezeichnet. Im Modell wird für beide Vortriebsrichtungen die jeweils kürzere **Basisvortriebsdauer** angesetzt, um nicht aufgetretene Einarbeitungseffekte im Allianzvertrag zu berücksichtigen.

## 4.4 Vorgehensweise Logistik

Unplanmäßige Stillstände werden in die **Verzögerung durch Logistik** eingeordnet, sofern diese Stillstände sich auf die Baustellenlogistik bzw. Baustelleneinrichtung zurückführen lassen. Beispiele für diese Stillstände sind: Wechsel der TVM, unterschiedliche Schichtbetriebe, aber vor allem auf Defizite des Gleiskonzeptes, Wartungsarbeiten an Weichen oder Verklemmungen an Gleisen. Die Schritte der Ermittlung der **Verzögerung Logistik** sind in Abbildung 16 dargestellt. Diese wird nach Abbildung 17 detailliert beschrieben. Der Ablauf ist generisch und wird für beide Vertragsmodelle in beiden Vortrieben identisch durchgeführt.



Abbildung 16: Prozess Verzögerung Logistik

Abbildung 17 stellt die Visualisierung der in Abbildung 16 genannten Schritte a, b, c, d und e dar.

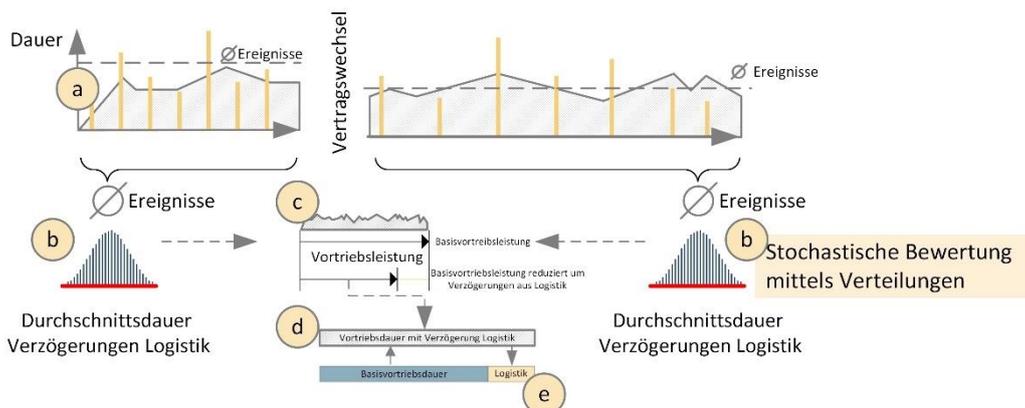


Abbildung 17: Visualisierung Logistik

### a) Ermittlung Verzögerung durch Logistik je Vertragsmodell:

Kapitel 4.3. gibt die Anzahl und Dauer jedes Stillstandes der **Verzögerungen durch Logistik** vor. Aus diesen lässt sich die durchschnittliche **Verzögerung durch Logistik** pro Ereignis für jeden Vortrieb ermitteln. Hierfür wird die Gesamtdauer der **Verzögerung durch Logistik** durch die Anzahl an Ereignissen geteilt.

### b) Stochastische Bewertung der Verzögerung durch Logistik (für die Prognosebildung):

Zur Gewährleistung einer realistischen Modellierung werden sowohl die Anzahl der Ereignisse als auch die Auswirkung pro Ereignis (Dauer in Tagen [d]) in einer Beta-PERT-Verteilung, mit einer Bandbreite von  $\pm 30\%$ , hinterlegt und anschließend aggregiert.<sup>25</sup> Die Verschneidung der ermittelten Verteilungsdichten ergibt die zu erwartende **Verzögerung aus Logistik**. Um die Auswirkungen der

<sup>25</sup> Sander et al. 2009

Logistik für einen Vergleich der Vertragsmodelle heranziehen zu können, werden die **Verzögerungen aus Logistik** relativ betrachtet. Diese Differenz (das Delta) wird nur im Vertragsmodell, in dem die höheren **Verzögerungen aus Logistik** ermittelt wurden, zur **Basisvortriebsdauer** hinzugefügt.

- c) Reduzierung der Basisvortriebsleistung (der Vortriebe zur Berücksichtigung der Verzögerung Logistik):

Eine Reduzierung der Vortriebsleistung bedingt eine Erhöhung der Vortriebsdauer. Dazu wird die **Basisvortriebsleistung** (BVL) um die **Verzögerungen aus Logistik** (VL) reduziert. Hierfür wurde Formel 1 aufgestellt:

$$\left( \frac{1}{BVL} + \frac{VL}{1440} \right)^{-1} = BVLred \quad \text{Formel 1}$$

Der Kehrwert der **Basisvortriebsleistung** gibt die Dauer an, die benötigt wird, um einen Tunnelmeter aufzufahren. Nach dem Angleichen der Einheiten von [min/Tm] zu [d/Tm] (Division VL durch 24 h x 60 min = 1440) werden die **Verzögerungen aus Logistik (VL)** mit dem Kehrwert der **Basisvortriebsleistung (BVL)** addiert. Der Kehrwert dieser Summe stellt die um die **Verzögerung aus Logistik** abgeminderte, **reduzierte Basisvortriebsleistung** (BVLred) in [Tm/d] dar. Die Berechnung im Modell erfolgt probabilistisch und ergibt so eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die **reduzierten Basisvortriebsleistung**.

- d) Ermittlung der Verzögerung Logistik im EPV:

Die Division der Tunnelgesamtlänge durch die **reduzierte Vortriebsleistung** ergibt die **Vortriebsdauer inkl. Verzögerung Logistik**. Subtrahiert man von dieser Dauer die **Basisvortriebsdauer**, so erhält man die **Verzögerung Logistik** in Tagen [d]. Die Berechnung im Modell erfolgt probabilistisch und ergibt so eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die **Verzögerung Logistik**.

- e) Korrektur der Vortriebsdauer um Verzögerung Logistik:

Die **Verzögerung Logistik** kann nun wieder zur **Basisvortriebsdauer** hinzugefügt werden. Gleichzeitig können beide Dauern separat ausgewiesen werden. Die Berechnung im Modell erfolgt probabilistisch und ergibt so eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die **Basisvortriebsdauer + Verzögerung Logistik**.

Die in der Ausarbeitung dargestellten Zahlenwerte bezeichnen die deterministisch ermittelten Werte. Im Modell wird die Berechnung für die gesamte Bandbreite der **Verzögerung Logistik** durchgeführt.

## 4.5 Vorgehensweise Verzögerung IST

Unter **Verzögerung IST** sind alle Verzögerungen zusammengefasst, die mit einem Stillstand des Vortriebs von mehr als 10 Tagen im Zusammenhang stehen. Die zugeordneten Stillstände können auf **Großereignisse** oder **außerordentliche Wartungen** zurückgeführt werden und ergeben sich aus der retrospektiven Analyse. **Großereignis** bezeichnet den Eintritt unvorhergesehener, unabwendbarer äußerer Einflüsse, die einen weiteren Vortrieb unmöglich machen. Beispiele sind Wassereinbrüche oder Störzonen. **Großereignisse** sind unabhängig vom Vertragsmodell und werden durch nicht beeinflussbare Umstände ausgelöst. Die Dauer der **Großereignisse** wird von zwei Komponenten beeinflusst: dem **technischen Anteil** und dem **vertraglichen Anteil**.

Mit **technischem Anteil** wird die Dauer bezeichnet, die benötigt wird, um die technischen Komponenten des äußeren Einflusses zu beheben und den Vortrieb fortsetzen zu können. Er tritt unabhängig vom Vertragsmodell auf.

Mit **vertraglichem Anteil** wird die Dauer bezeichnet, die der Bauherr und der Auftragnehmer benötigen, um die Sphärenzuordnung zu klären. Dieser Anteil wird vom Vertragsmodell beeinflusst.

Die Schritte für die Ermittlung der **Verzögerung IST** sind in Abbildung 18 dargestellt. Diese wird nach Abbildung 19 detailliert beschrieben. Der Ablauf ist generisch und wird für beide Vertragsmodelle in beiden Vortrieben identisch durchgeführt.

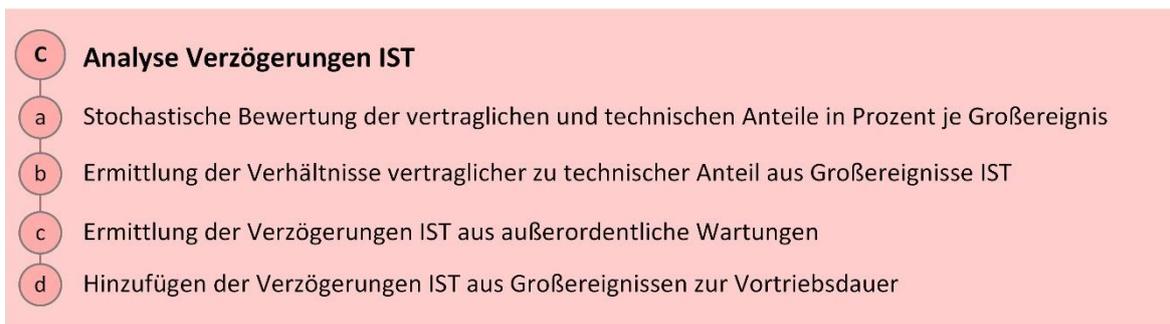


Abbildung 18: Prozess Verzögerung IST

Abbildung 19 stellt die Visualisierung der in Abbildung 18 genannten Schritte a, b, c und d dar.

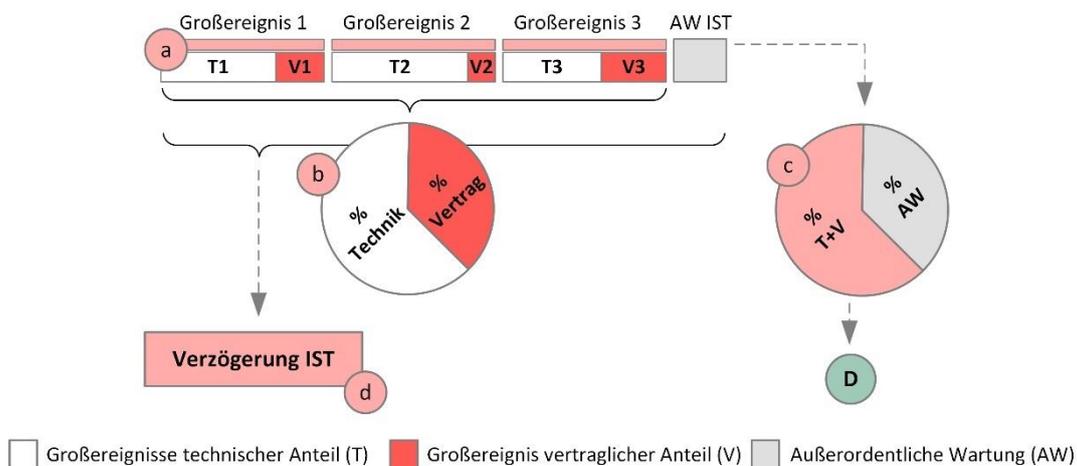


Abbildung 19: Visualisierung Verzögerung IST

a) Stochastische Bewertung der vertraglichen und technischen Anteile in Prozent je Großereignis:

Kapitel 4.3. gibt die Anzahl und Dauer jedes Stillstandes der Kategorie **Großereignis** vor. Die prozentuale Aufteilung in **technische** und **vertragliche Anteile** erfolgt durch Auswertung des Schriftverkehrs und der Bauprotokolle. Anschließend wurde diese Aufteilung von der Projektleitung GKI evaluiert.

b) Ermittlung der Verhältnisse vertraglicher zu technischer Anteil aus Großereignissen IST:

Aus der vorangegangenen Bewertung des **technischen** und des **vertraglichen Anteils** der im jeweiligen Modell eingetretenen **Großereignisse** wird in diesem Schritt das Verhältnis der beiden Anteile zueinander berechnet. Hierfür wird jeweils die Summe aller **technischen Anteile** zur Summe aller **vertraglichen Anteile** ins Verhältnis gesetzt. Die **technischen Anteile** treten beim Vortrieb des entsprechen Abschnittes immer auf, während die **vertraglichen Anteile** vom Vertragsmodell beeinflusst sind. Dieser Umstand wird im Schritt **D** (Kapitel 4.6) aufgegriffen.

c) Ermittlung der Verzögerungen IST aus außerordentlicher Wartung:

Auch die **außerordentlichen Wartungsarbeiten** müssen in der Modellierung berücksichtigt werden. Diese können in dem Vertragsmodell, in dem sie aufgetreten sind, voll angesetzt werden. Die Dauer der **Großereignisse** und **außerordentlichen Wartungen** eines Vertragsmodells in einem Vortrieb ergeben zusammen die anzusetzende **Verzögerung IST**.

Für die Prognose der nicht aufgefahren Tunnelstecke in Schritt **D** wird die Summe der ermittelten **Verzögerungen IST** zur Summe der Stillstände - bedingt durch **außerordentliche Wartungen** - ins Verhältnis gesetzt. Die berechneten Anteile der **außerordentlichen Wartungen** finden im Kapitel 4.6 Verwendung. Dieser Schritt wird für beide Vortriebe und beide Vertragsmodelle durchgeführt.

d) Hinzufügen der Verzögerungen IST aus Großereignissen zur Vortriebsdauer:

Die tatsächlich eingetretenen Verzögerungen der **Verzögerung IST** (die beiden Anteile der **Großereignisse** sowie die **außerordentliche Wartung** (beides in [d])) können zur **Basisvortriebsleistung+Verzögerung Logistik** für den jeweils aufgefahrenen Tunnelabschnitt hinzugefügt werden. Da es sich um tatsächlich eingetretene Verzögerungen handelt, die in das Modell aufgenommen werden, wird der deterministische Wert addiert. Es ergibt sich **Basisvortriebsdauer+Verzögerung Logistik+Verzögerung IST**.

Die Summe der Verzögerungen aus **Großereignissen** und **außerordentlichen Wartungen** gibt die **Verzögerung IST** vor, für jenes Modell, in dem sie aufgetreten sind.

## 4.6 Vorgehensweise Verzögerung Prognose

Zur Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Prognose der Vortriebsdauer für die im jeweiligen Vertragsmodell nicht aufgefahrene Tunnelstrecke wird eine probabilistische Analyse durchgeführt. Eine deterministische Herangehensweise ist nicht zielführend, da sich so mit Punktwerten nur die exakten gemessenen Daten aus der Vergangenheit auf die Zukunft übertragen ließen.<sup>26</sup> In der Stellungnahme ist die Modellierung der Prognose deterministisch abgebildet, basiert jedoch auf dem probabilistischen Modell.

Die Schritte der Ermittlung der **Verzögerung Prognose** sind in Abbildung 20 dargestellt. Diese wird nach Abbildung 21 detailliert beschrieben. Der Ablauf ist generisch und wird für beide Vertragsmodelle in beiden Vortrieben identisch durchgeführt.

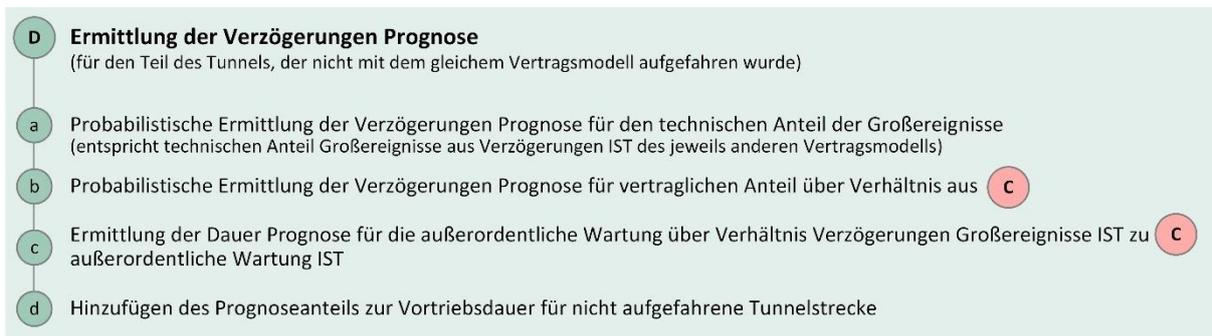


Abbildung 20: Prozess Verzögerung Prognose

Abbildung 21 stellt die Visualisierung der in Abbildung 20 genannten Schritte a, b, c und d dar.

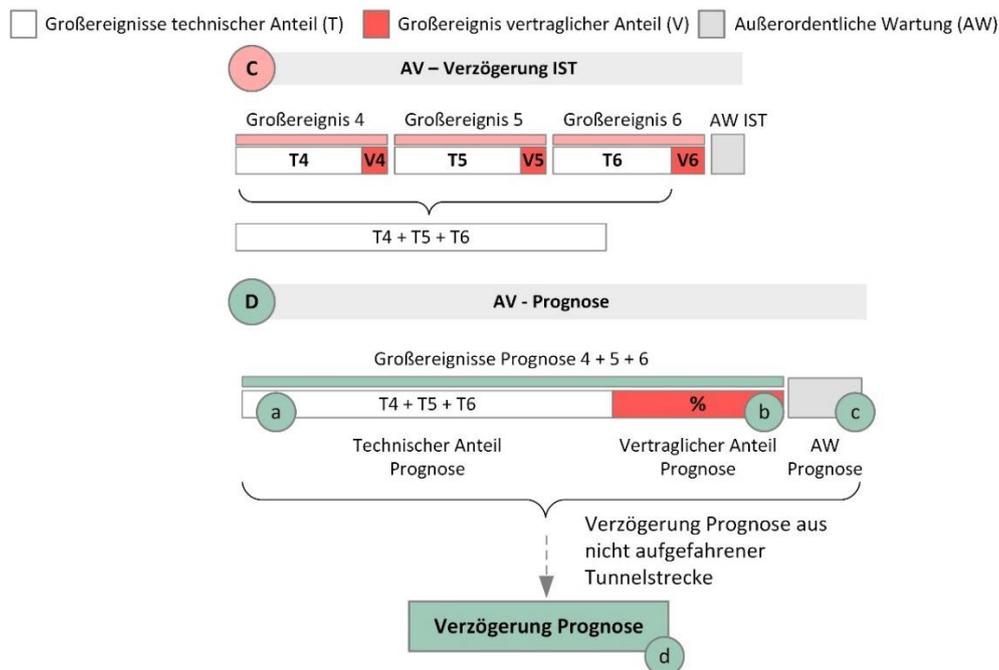


Abbildung 21: Visualisierung Verzögerung Prognose

<sup>26</sup> Schneider et al. 2010

- a) Probabilistische Ermittlung der Verzögerungen Prognose für den technischen Anteil der Großereignisse:

Zur Ermittlung der Prognose wird die Kapitel 4.5 beschriebene Aufteilung der **Großereignisse**, in die **technischen** und die **vertraglichen Anteile**, sowie Verhältnis zur **außerordentlichen Wartung** herangezogen. Der **technische Anteil** tritt unabhängig vom Vertragsmodell auf, und bezeichnet die Zeit, die nötig wird, um Störungen zu beseitigen und den Vortrieb technisch fortsetzen zu können. In diesem Schritt wird die Summe aller **technischen Anteile** der in einem Vortrieb auftretenden **Großereignisse** gebildet.

- b) Probabilistische Ermittlung der Verzögerungen Prognose für den vertraglichen Anteil über Verhältnis aus Kapitel 4.5:

Die **vertraglichen Anteile** aus Kapitel 4.5 werden auf die Summe des im jeweilig anderen Vertragsmodell auftretenden **technischen Anteile** zur Ermittlung der **Verzögerungen Prognose für die nicht aufgefahrenen Tunnelstrecke** aufgeschlagen. Es ergibt sie die Prognose: **Großereignisse pro Prognose**.

- c) Ermittlung der Dauer Prognose für die außerordentliche Wartung über Verhältnis Verzögerungen Großereignisse IST zu Kapitel 4.5 außerordentliche Wartung IST:

Die Prognose der **außerordentlichen Wartung** wird über das Verhältnis der **prognostizierten Großereignisse** (der im Vertragsmodell nicht aufgefahrenen Tunnelstrecke) zu den real auftretenden **außerordentlichen Wartungen** bestimmt. Die Prognose der **außerordentlichen Wartungen** wird anschließend zu den **prognostizierten Großereignissen** addiert. Die Gesamtsumme ergibt die **Verzögerung Prognose**.

- d) Hinzufügen des Prognoseanteils zur Vortriebsdauer für die nicht aufgefahrene Tunnelstrecke:

Die ermittelte **Verzögerung Prognose** wird zur **Basisvortriebsleistung + Verzögerung Logistik + Verzögerung IST** hinzugefügt. Es ergibt sich **Basisvortriebsdauer + Verzögerung Logistik + Verzögerung IST + Verzögerung Prognose**. Der Aufbau des Modells ist abgeschlossen.

Durch Addition der **Verzögerung Prognose** ist das Modell des vollständigen Vortriebs in einem Vertragsmodell komplettiert. Ein Vergleich der einzelnen Vortriebe erfolgt im nächsten Kapitel.



## 5 Auswertung

### 5.1 Basisvortriebsdauer

A	Basisvortriebsdauer	Verzögerung Logistik	Verzögerung IST	Verzögerung Prognose
---	---------------------	----------------------	-----------------	----------------------

Kapitel 5.1 bildet die Ergebnisse des Schrittes A), die Ermittlung der **Basisvortriebsdauer**, ab. Es wird empfohlen das Kapitel 5.1 in Zusammenschau mit Anlage 4 zu lesen.

Tabelle 2: Vortriebsdauern

	Vortrieb Süd				Vortrieb Nord			
	EPV		AV		EPV		AV	
Brutto Vortriebsdauer [d]	452		831		355		642	
Dauer in [d] und prozentuale Anteile der Brutto Vortriebsdauer								
	[d]	Anteil	[d]	Anteil	[d]	Anteil	[d]	Anteil
Netto Vortriebsdauer	185	40,9%	570	68,6%	141	39,7%	450	70,1%
IST Verzögerungen	267	59,1%	261	31,4%	214	60,3%	192	29,9%
Dauer in [d] und prozentuale Anteile der Kategoriesierung IST Verzögerungen								
Logistik	26	9,7%	29	11,1%	31	14,5%	6	3,1%
Großereignisse	163	61,0%	171	65,5%	156	72,9%	128	66,7%
Außerordentliche Wartungen	40	15,0%	10	3,8%	7	3,3%	22	11,5%
Planmäßige Wartungen	-	0,0%	11	4,2%	-	0,0%	11	5,7%
Montage	13	4,9%	-	0,0%	10	4,7%	-	0,0%
Abgänge	25	9,4%	40	15,3%	10	4,7%	25	13,0%
Dauer in [d] und prozentuale Anteile der Kategoriesierung IST Verzögerungen								
Anteil betrachte Verzögerungen	229	85,8%	210	80,5%	194	90,7%	156	81,3%
Logistik	26	11,4%	29	13,8%	31	16,0%	6	3,8%
Großereignisse	163	71,2%	171	81,4%	156	80,4%	128	82,1%
Außerordentliche Wartungen	40	17,5%	10	4,8%	7	3,6%	22	14,1%

Tabelle 2 fasst die retrospektive Analyse zusammen und gibt die kategorisierten Verzögerungen wieder.

#### a) Retrospektive Untersuchung der IST Vortriebsdauer:

Abbildung 22 stellt die **IST Vortriebsdauer**, die Zeit, die jedem Vertragsmodell für den Vortrieb zur Verfügung stand, des Vortriebs nach Süden dar. Im EVP beträgt sie 452 Tage im AV 831 Tage.

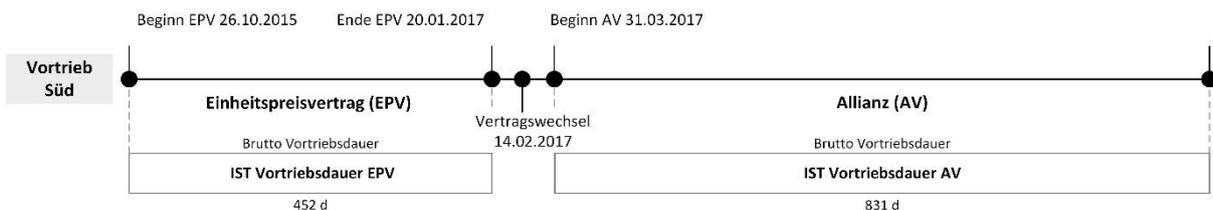


Abbildung 22: IST Vortriebsdauer Tunnel Süd

## b) Ermittlung der Nettovortriebsdauer:

Die **IST Vortriebsdauer** ist in Stillstands- und Vortriebstage zu unterteilen (vgl. Abbildung 23).

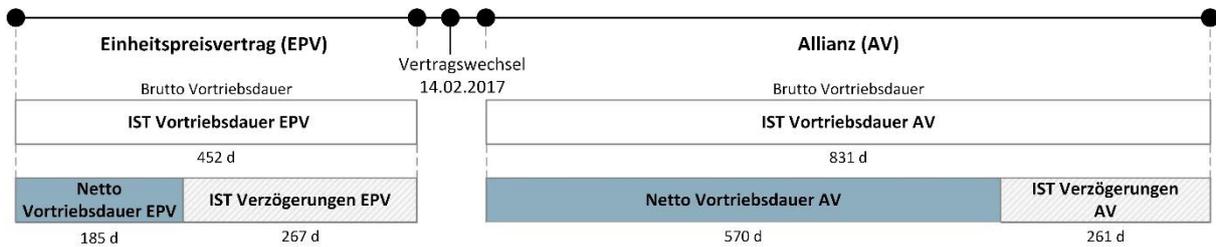
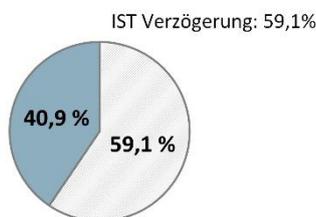


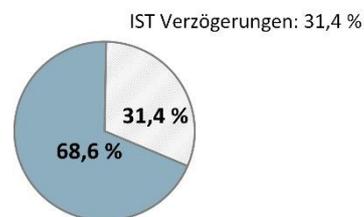
Abbildung 23: Unterscheidung Netto Vortriebsdauer und IST Verzögerungen Tunnel Süd

Für den EPV beträgt die **Netto Vortriebsdauer** 185 Tage, die **IST Verzögerung** 267 Tage. Im Vergleich dazu fand an 570 der 831 Tagen der **IST Vortriebsdauer** des AV ein Vortrieb statt. 261 Tagen sind der **IST Verzögerungen** des AV zugeordnet.



Netto Vortriebsdauer: 40,1 %

Abbildung 24: Verhältnis Vortrieb-Verzögerung Vortrieb Süd EPV



Netto Vortriebsdauer: 68,6 %

Abbildung 25: Verhältnis Vortrieb-Verzögerung Vortrieb Süd AV

Abbildung 24 und Abbildung 25 stellen die prozentualen Verhältnisse des Vortriebs und der Verzögerungen zueinander dar. Im EPV hat an 40,1 % der Tage ein Vortrieb stattgefunden. Der Anteil an der **Netto Vortriebsdauer** im AV beläuft sich auf 68,6 %. Folglich lässt sich feststellen, dass die **IST Verzögerungen** im EPV, mit 59,1 % fast doppelt so hoch ausgefallen ist wie die **IST Verzögerung** im AV mit 31,4 %.

## c) Kategorisierung der IST Verzögerungen:

Die Kategorisierung der **IST Verzögerungen** für den EPV und AV im Vortrieb Süd ist in Abbildung 26 dargestellt.

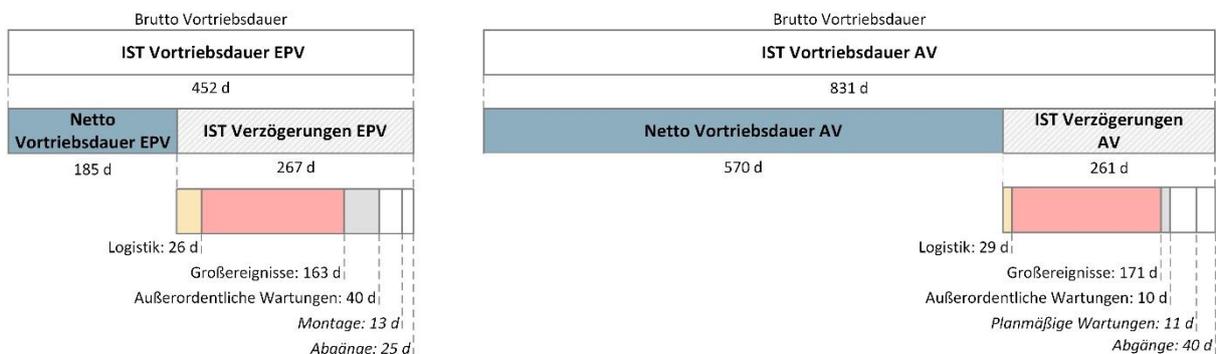


Abbildung 26: Untersuchung IST Verzögerungen Tunnel Süd

Die **planmäßigen Wartungen**, die **Montage** der TVM sowie geplante **Abgänge** sind der **IST Verzögerung** zugeordnet, treten jedoch unabhängig vom Vertragsmodell auf (14,2 % der **IST Verzögerung**). Daher können sie im Modelllaufbau vernachlässigt werden und sind somit kein Gegenstand der weiteren Betrachtung.

In Abbildung 27 ist links die Kategorisierung der **IST Verzögerung** der zu berücksichtigten Stillstände (in der Summe 85,8 %) des EPV in Form eines Kuchendiagrammes dargestellt. Hieraus ergeben sich die Anteile **Verzögerung IST**, welche in der Modellierung Verwendung finden und rechts abgebildet sind.

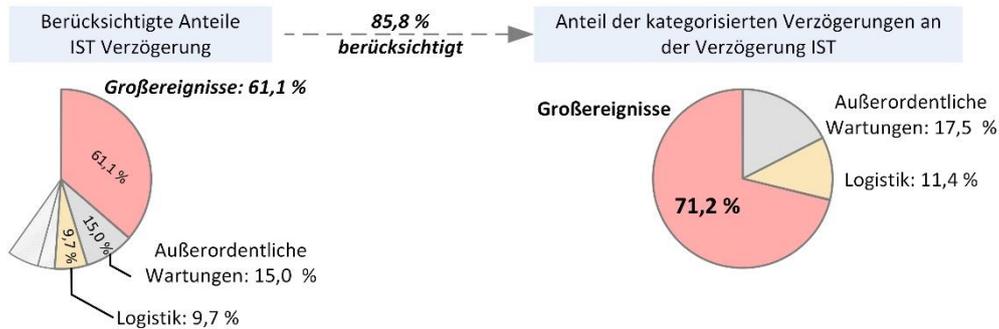


Abbildung 27: Verzögerungen IST Vortrieb Süd EPV

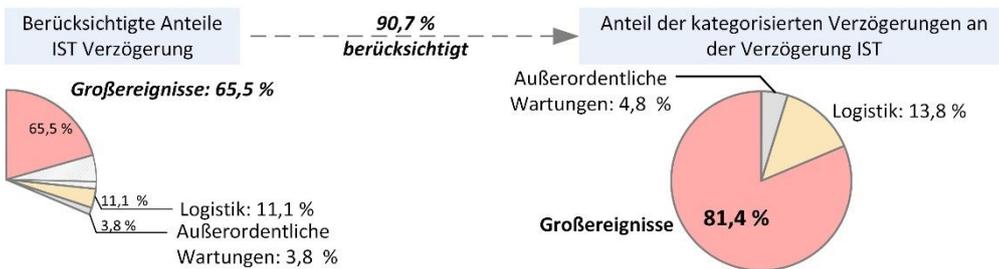


Abbildung 28: Verzögerungen IST Vortrieb Süd AV

Abbildung 28 gibt, im identischen Schema der Abbildung 27, die Anteile der **Verzögerung IST** des AV im Vortrieb nach Süden wieder.

**d) Ermittlung der Basisvortriebsdauer:**

Die aus der **Nettovortriebsdauer** bezogen auf die aufgefahrenen Tunnelstecke ermittelte **Netto Vortriebsleistung** ist für die Vortriebe nach Süden in Abbildung 29 dargestellt.

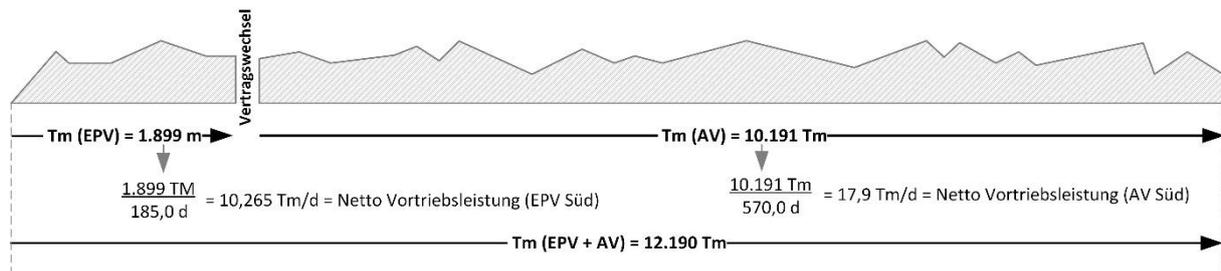


Abbildung 29: Netto Vortriebsleistungen Vortrieb Süd

Aus der im EPV in 185 Tagen aufgefahrenen Strecke von 1.899 Tm ergibt sich eine **Netto Vortriebsleistung** von 10,265 Tunnelmetern pro Tag [Tm/d]. Die **Netto Vortriebsleistung** im Allianzvertrag liegt bei 17,9 Tm/d. Im Modell wird die höhere **Netto Vortriebsleistung** des AV für die Ermittlung der **Basisvortriebsdauer** beider Vertragsmodelle verwendet (vgl. Abbildung 30).

$$\frac{12.090 \text{ Tm}}{17,9 \text{ Tm/d}} = 676,214 \text{ d} = \text{Basisvortriebsdauer}$$

Abbildung 30: Ermittlung Basisvortriebsdauer Vortrieb Süd

Tabelle 3 fasst die realen Brutto-Leistungen sowie die im Modell verwendeten Netto-Leistungen zusammen.

Tabelle 3: Brutto und Netto Leistungen

	Vortrieb Süd		Vortrieb Nord	
	EPV	AV	EPV	AV
Aufgefahrene Tunnelstecke [Tm]	1.899	10.191	1.641	7.790
Brutto Vortriebsdauer [d]	452	831	355	642
Brutto Vortriebsleistung [Tm/d]	4,2	12,3	4,6	12,1
Netto Vortriebsdauer [d]	185	570	141	450
Netto Vortriebsleistung [Tm/d]	10,3	17,9	11,6	17,3
Vortriebsdauer in [d] für den vollständigen Vortrieb in einem Vertragsmodell				
Gesamte Vortriebsstrecke [Tm]	12.090		9.431	
Brutto Vortriebsdauer [d]	2879	983	2050	779
Netto Vortriebsdauer [d]	1174	676	813	545
Basisvortriebsdauer im Modell [d]	676	676	545	545

Für die **Basisvortriebsdauer** wird im Modell des Vortriebs nach Süden für beide Vertragsmodelle eine Dauer von **676 Tagen** angesetzt.



Für die Modellierung der Vortriebe nach Norden wird eine **Basisvortriebsdauer** von 545 Tagen festgelegt.

## 5.2 Korrektur Logistik

Basisvortriebsdauer	<b>Verzögerung Logistik</b>	Verzögerung IST	Verzögerung Prognose
	B		

Kapitel 5.2 bildet die Ergebnisse des Schrittes **B**), die Ermittlung der **Verzögerung Logistik**, ab. Es wird empfohlen das Kapitel 5.2 in Zusammenschau mit Anlage 5 zu lesen.

Tabelle 4: Verzögerung Logistik

	Vortrieb Süd		Vortrieb Nord	
	EPV	AV	EPV	AV
Verzögerung durch Logistik [d]	26	29	31	6
Anzahl Logistik Ereignisse (Ereigniszahl)	8	5	7	3
Durchschnittliche Verzögerung [d] (Auswirkung)	3,25	5,80	4,43	2,00
Ergebnis der stochastischen Bewertung Verzögerung durch Logistik				
Bandbreite Eingangsdaten	-30 %	+30 %	-30 %	+30 %
	EPV		AV	
	Auswirkung [d]	Perzentil [%]	Auswirkung [d]	Perzentil [%]
Verzögerung aus Logistik	37	5	20,3	5
	56,2	50	34,2	50
	80,1	95	52,3	95
	57	det.	35	det.
Skalierung Verzögerung Logistik [min/Tm]				
Vortrieb je Vertragsmodell [Tm]	EPV		AV	
	3.540		17.981	
Verzögerung aus Logistik det. [min/Tm]	23,2		2,8	
Verzögerung aus Logistik det. im Modell [min/Tm]	20,4		0,0	
Verzögerung Logistik [d]				
Vortriebsstrecke [Tm]	12.090		9.431	
	Vortrieb Süd		Vortrieb Nord	
Vortriebsleistung det. inkl. Verzögerung Logistik	EPV	AV	EPV	AV
	14,3	17,9	13,9	17,3
Vortriebsdauer det. inkl. Verzögerung Logistik [d]	847	676	679	545
Verzögerung Logistik det. [d]	171	0	134	0

Tabelle 4 fasst die Anzahl und Dauer aller der der **Verzögerung durch Logistik** zugeordneten Ereignisse zusammen. Weiter wird die Bandbreite der stochastischen Bewertung, die daraus resultierenden Ergebnisse, die Skalierung der Verzögerung durch Logistik sowie die det. Dauer in Tagen der **Verzögerung Logistik** abgebildet.

### a) Ermittlung der Verzögerung Logistik:

Abbildung 31 stellt die Kategorie Logistik zugeordneten Stillstände des Vortriebs nach Süden dar. Für den Vortrieb im EPV konnten acht Ereignisse, mit einer durchschnittlichen Dauer von 3,25 Tagen, für den Vortrieb im AV fünf Ereignisse mit einer durchschnittlichen Dauer von 5,8 identifiziert werden. Bezogen auf die Vortriebslänge ergibt sich eine Verzögerung von 19,7 Minuten/Tunnelmeter im EPV und eine Verzögerung von 4,1 Minuten pro Tunnelmeter im AV.

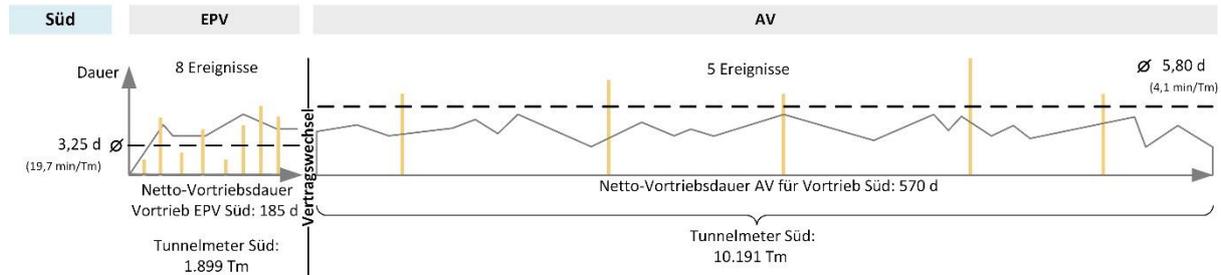


Abbildung 31: Verzögerung durch Logistik

### b) Stochastische Bewertung der Verzögerung Logistik:

Abbildung 32 gibt die stochastische Bewertung der Ereignisse und Auswirkung der **Verzögerung aus Logistik** wieder.

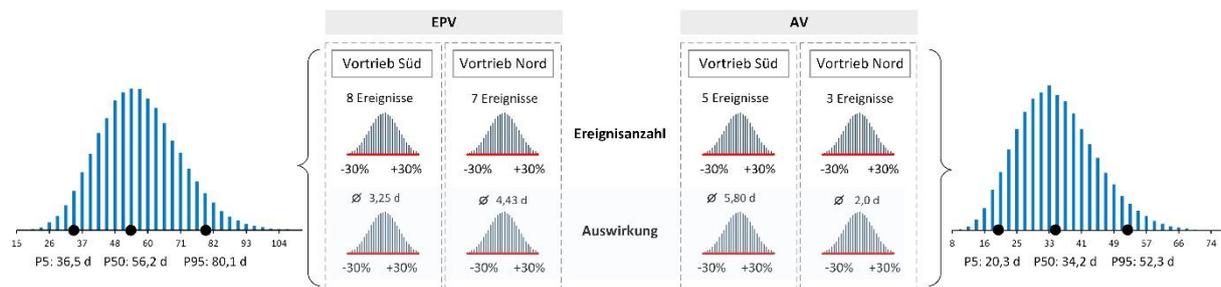


Abbildung 32: Stochastische Bewertung Verzögerung aus Logistik Vortrieb Süd

Die ermittelten **Verzögerungen durch Logistik** beziehen sich immer auf das Vertragsmodell, in dem sie aufgetreten sind. Um einen Bezug zu den **Vortriebsleistungen** zu ermöglichen, werden die **Verzögerungen durch Logistik** in [min/Tm] umgewandelt.

Für Vortriebe im Vertragsmodell des EPV ergibt sich eine deterministisch ermittelte Verzögerung von 57 d. Bezogen auf die Vortriebsstrecke von 3540 Tm ist mit einer skalierten Verzögerung von 23,2 Minuten pro Tunnelmeter zu rechnen. Die Bestimmung der **Verzögerung durch Logistik** im AV erfolgt analog. Im AV ist mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % mit 34,2 Tagen (deterministisch 35 Tage) Verzögerung zu rechnen. Bezogen auf die im AV aufgefahrne Strecke von 17.981 Tunnelmetern ergibt sich eine skalierte Verzögerung von 2,8 Minuten pro Tunnelmeter (deterministisch).

Abbildung 33 & Abbildung 34 bilden die Verteilungsfunktionen und die Lorenzkurve, mittels zweier Auszüge aus dem RIAAT-Modell, für die **Verzögerung aus Logistik** in [min/Tm] ab.

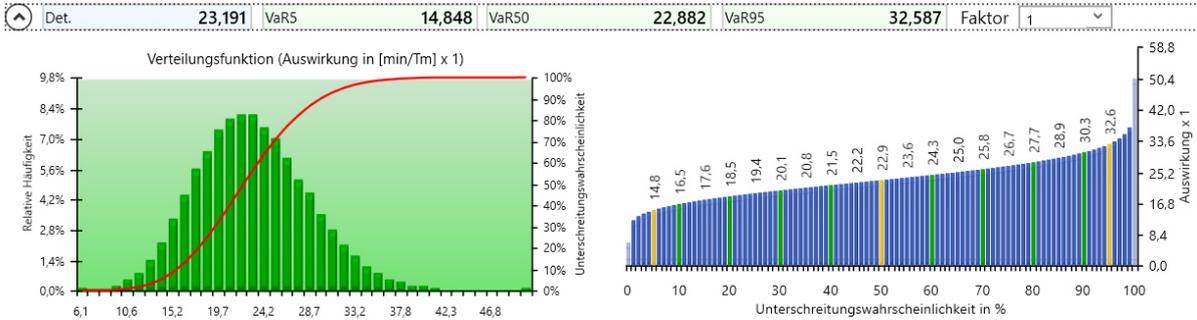


Abbildung 33: Verzögerung Logistik Vortriebe EPV [min/Tm]

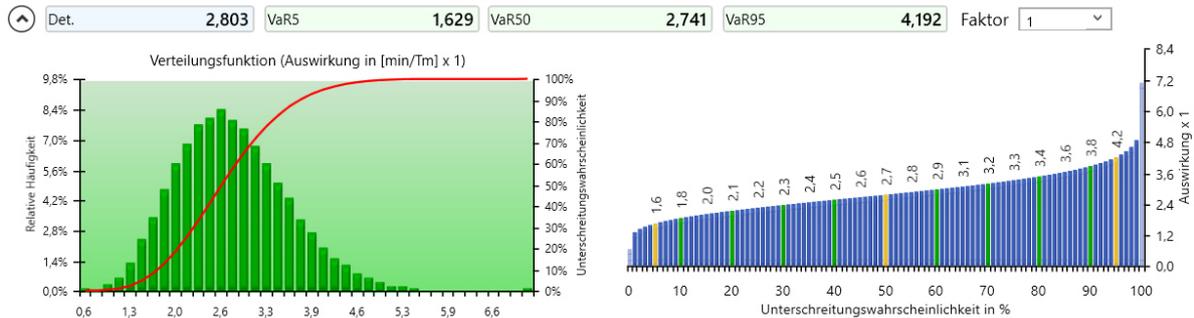


Abbildung 34: Verzögerung Logistik Vortriebe AV [min/Tm]

Die im Vertragsmodell des AV auftreten **Verzögerung aus Logistik** fällt deutlich geringer aus, als jene des EPV. Zu Darstellung der großen Differenz wird **Verzögerung aus Logistik** des AV von der des EPV subtrahiert.

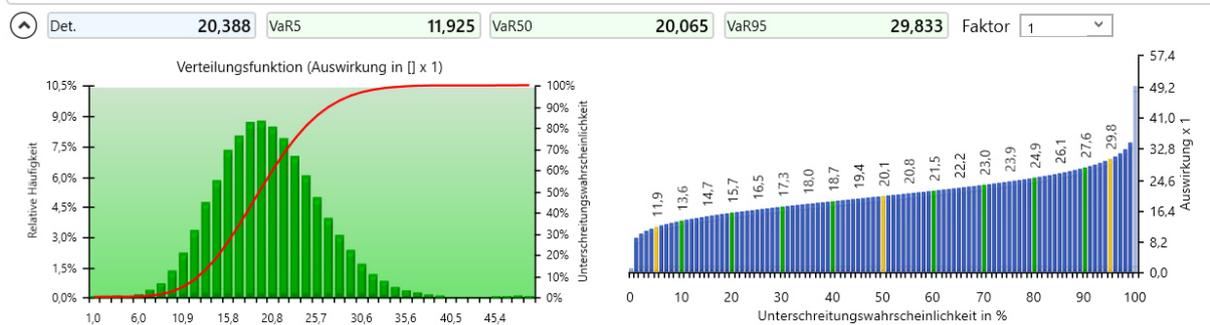


Abbildung 35: Reduzierung Verzögerung Logistik

Deterministisch ergibt sie eine reduzierte **Verzögerung aus Logistik** von 20,3 [min/Tm]. In Abbildung 35 sind die relative Häufigkeit und Unterschreitungswahrscheinlichkeit der anzusetzenden **Verzögerung aus Logistik** abgebildet.

### c) Reduzierung der Basisvortriebsleistung Tunnel Süd:

Die Anwendung von Formel 1 ist exemplarisch für die deterministische **Verzögerung aus Logistik**, in Abbildung 36, dargestellt. Für den Vortrieb Süd ergibt sich so eine reduzierte Vortriebsleistung von 14,3 [Tm/d].

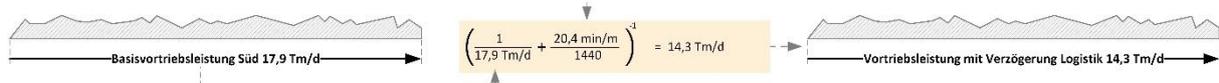


Abbildung 36: Reduzierte Basisvortriebsleistung Tunnel Süd

Die Ergebnisse der Reduzierung im Modell sind in Abbildung 37 abgebildet. Links ist die Verteilungsdichte der relativen Häufigkeit und rechts die dazugehörige Lorenzkurve, darunter ist die Formel 1 im Modell sowie im aus dem Modell referenzierte **Basisvortriebsleistung** und **Verzögerung aus Logistik** des Vortriebs Süd dargestellt.

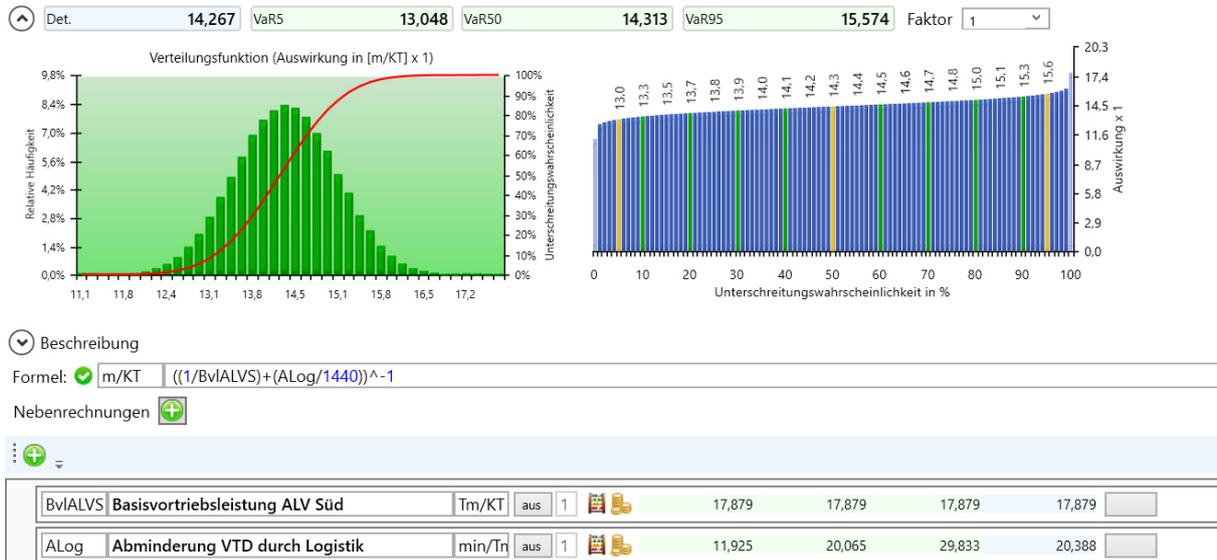


Abbildung 37: Reduzierte Basisvortriebsleistung

**d) Ermittlung Verzögerung Logistik in [d]:**

Die Ermittlung der **Vortriebsdauer inkl. Verzögerungen aus Logistik** erfolgt mittels der Division der Gesamttunnellänge durch die **reduzierte Vortriebsleistung**.

Im Modell wurde dieser Berechnungsschritt für die gesamte Bandbreite der Vortriebsgeschwindigkeiten durchgeführt (vgl. Abbildung 38).

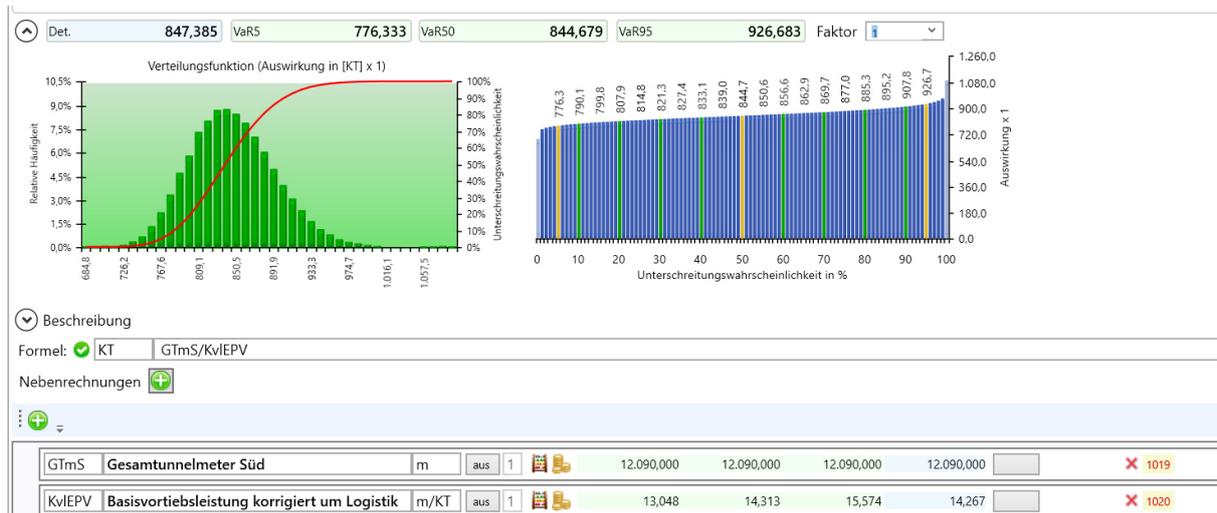


Abbildung 38: Berechnung Vortriebsdauer mit reduzierter Vortriebsleistung

**e) Korrektur Vortriebsdauer Logistik:**

Die Differenz zwischen der **Vortriebsdauer inkl. Verzögerungen aus Logistik** (857 d) und **Basisvortriebsdauer** (676 d) beträgt deterministisch 171 Tage. Die probabilistisch ermittelten Ergebnisse sind in Abbildung 39 dargestellt. Die Unterschreitungswahrscheinlichkeit für die **Verzögerungen aus Logistik** von 100,1 Tagen liegt bei 5 %, von 168,5 Tagen 50 % und 250,5 Tagen 95 %.

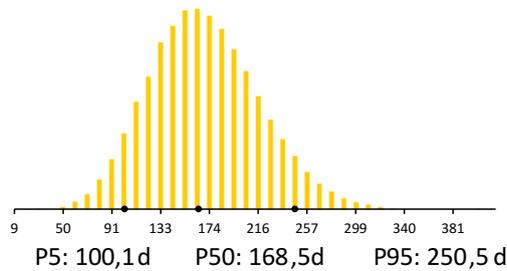


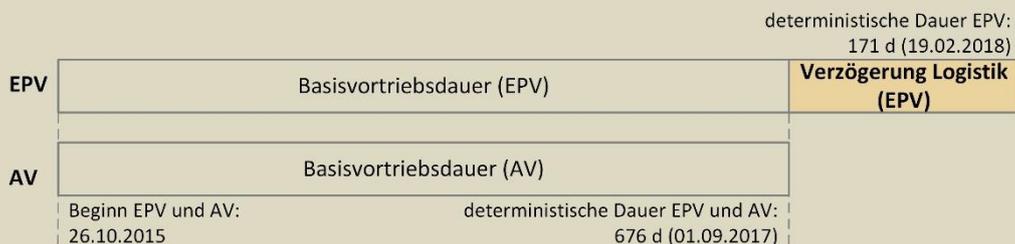
Abbildung 39: Verteilung Verzögerung Logistik Tunnel Süd

Tabelle 5 zeigt die deterministisch anzusetzende **Verzögerung Logistik** für beide Vortriebe auf.

Tabelle 5: Ansetzbare Verzögerung Logistik

Vortriebsstrecke [Tm]	12.090		9.431	
	Vortrieb Süd		Vortrieb Nord	
	EPV	AV	EPV	AV
Vortriebsleistung det.	14,3	17,9	13,9	17,3
Vortriebsdauer det. inkl. Verzögerung Logistik [d]	847	676	679	545
Verzögerung Logistik det. [d]	171	0	134	0

Für die **Verzögerung Logistik** wird im Modell des Vortriebs nach Süden eine Dauer von **171 Tagen** (deterministisch) angesetzt.



Für die Modellierung des Vortriebe nach Norden im Modell des EPV wird eine **Basisvortriebsdauer+Verzögerung Logistik** von 679 Tagen (deterministisch) angesetzt. Die Vortriebsdauer im AV wird auf Grund der Delta-Beaufschlagung im EPV-Modell von der Verzögerung Logistik nicht beeinflusst.

### 5.3 Analyse Verzögerungen IST

Basisvortriebsdauer	Verzögerung Logistik	<b>Verzögerung IST</b>	Verzögerung Prognose
---------------------	----------------------	------------------------	----------------------

Kapitel 5.3 bildet die Ergebnisse des Schrittes **C)**, Ermittlung der **Verzögerung IST**, ab. Es wird empfohlen das Kapitel 5.3 in Zusammenschau mit Anlage 6 zu lesen.

Tabelle 6: Verzögerungen IST

	Vortrieb Süd				Vortrieb Nord			
	EPV		AV		EPV		AV	
	[d]	technischer Anteil [%]	[d]	technischer Anteil [%]	[d]	technischer Anteil [%]	[d]	technischer Anteil [%]
1. Großereignis je Vortrieb	21	70 - 80	39	100	43	95 - 100	44	100
2. Großereignis je Vortrieb	120	75 - 80	72	100	27	85 - 90	70	95 - 100
3. Großereignis je Vortrieb	22	75 - 80	60	95 - 100	86	85 - 90	14	100
technischer und vertraglicher Anteil (det.) [d]								
Summe außerordentliche Wartung [d]	40		10		7		22	
Summe Großereignisse [d]	163		171		156		128	
Summe technischer Anteil Großereignisse [d]	127,65		169,5		140,8		126,25	
Summe vertraglicher Anteil Großereignisse [d]	33,35		1,5		15,2		1,75	
technischer und vertraglicher Anteil [%]								
technischer Anteil	78,31%		99,12%		90,26%		98,63%	
vertraglicher Anteil	20,46%		0,88%		9,74%		1,39%	
Anteile an Verzögerung IST [%]								
Anteil Großereignisse	80,30%		94,48%		95,71%		85,33%	
Anteil außerordentliche Wartung [d]	19,70%		5,52%		4,29%		14,67%	

#### a) Stochastische Bewertung Großereignisse:

Die **Verzögerung IST** setzt sich in beiden Vertragsabwicklungsmodellen immer aus der Summe an Stillständen durch **Großereignisse** und **außerordentliche Wartungen** zusammen.

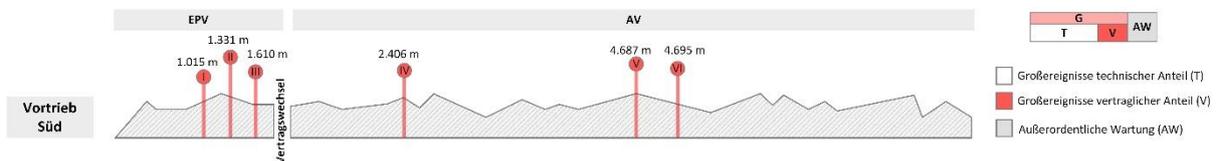


Abbildung 40: IST Verzögerungen Vortrieb Süd

Durch die retrospektive Untersuchung des Vortriebs im Tunnel Süd wurden in beiden Vertragsabwicklungen jeweils drei Großereignisse identifiziert (vgl. Abbildung 40). Die Stillstände dauerten zwischen 21 und 120 Tagen an.

Die stochastische Bewertung der identifizierten Großereignisse hinsichtlich ihres **vertraglichen** und **technischen Anteils** wurde in einem Workshop mit der Projektleitung des GKI durchgeführt. Die Ergebnisse für den Tunnel Süd sind in Abbildung 41 dargestellt.



Abbildung 41: Stochastische Bewertung IST Verzögerungen Vortrieb Süd

**b) Vertraglicher und technischer Anteil:**

Bezogen auf die Gesamtdauer der **Großereignisse** ist das prozentuale Verhältnis des **technischen**- und des **vertraglichen Anteils** an der Verzögerung des EPV und AV Süd in Abbildung 42 dargestellt.

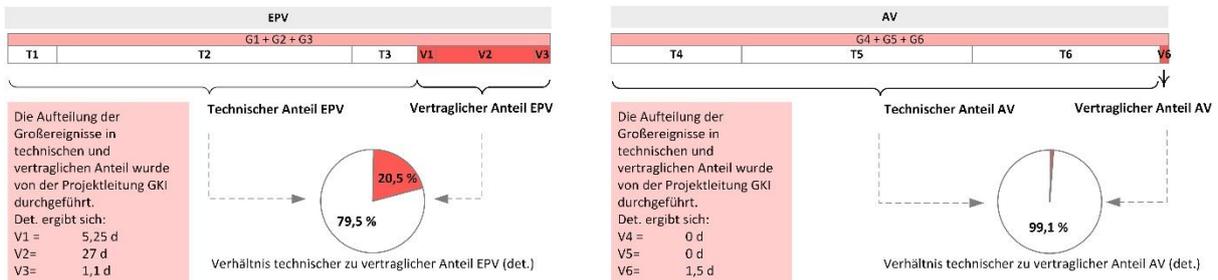


Abbildung 42: Verhältnis technische und vertragliche Verzögerung Tunnel Süd

Der **technische Anteil** überwiegt in beiden Vertragsmodellen. Der **vertragliche Anteil** dagegen fällt nur in den Einheitspreisverträgen signifikant höher aus.

**c) Außerordentliche Wartung:**

Der Anteil der **außerordentlichen Wartungen** an der **Verzögerung IST** im Vortrieb Süd ist in Abbildung 43 dargestellt. Im EPV des Vortrieb Süd beträgt der Anteil 19,7 %, im AV 5,5 %.

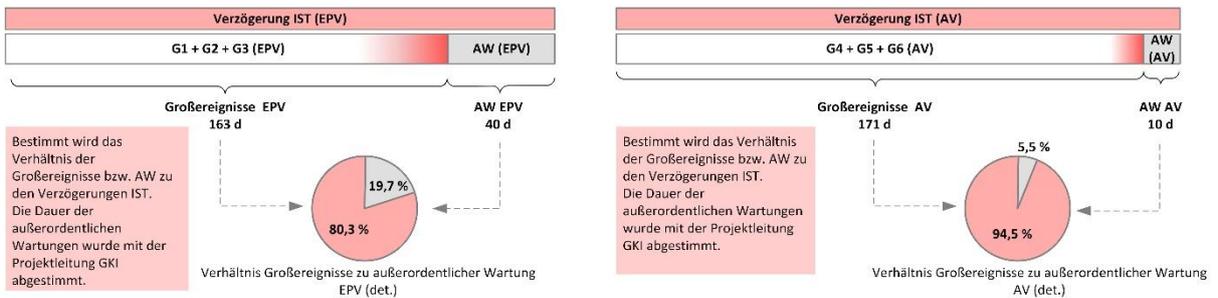


Abbildung 43: Verhältnis der Außerordentlichen Wartung zur Verzögerung IST Vortrieb Süd

**d) Vortriebsdauer mit Verzögerungen IST:**

Die **Verzögerung IST** wird, so wie sie in der retrospektiven Untersuchung ermittelt wurde, im Modell auf die jeweiligen Vertragsmodelle aufaddiert. Ihre Zusammensetzung ist in Abbildung 44 nochmals dargestellt.

- Verzögerung IST setzen sich zusammen aus:
- Technischer Anteil Großereignis IST
  - Vertraglicher Anteil Großereignis IST
  - Außerordentliche Wartung IST bezogen auf die aufgefahrene Tunnelstrecke.

Abbildung 44: Bestandteile Verzögerung IST

Tabelle 7 zeigt die deterministisch anzusetzende **Verzögerung IST** für beide Vortriebe auf.

Tabelle 7: Ansetzbare Verzögerung IST

	Vortrieb Süd		Vortrieb Nord	
	EPV	AV	EPV	AV
außerordentliche Wartung [d]	40	10	7	22
Summe Großereignisse [d]	163	171	156	128
Verzögerung IST [d]	203	181	163	150
Basisvortriebsdauer + Verzögerung Logistik + Verzögerung IST	1050	857	842	695

Für die **Verzögerung IST** wird im Modell EPV des Vortriebs nach Süden eine Dauer von 203 Tagen angesetzt. Für das Modell des AV Süd sind 181 Tage zu berücksichtigen.

		det. Dauer EPV: 203 d (10.09.2018)
Basisvortriebsdauer (EPV)	Verzögerung Logistik (EPV)	<b>Verzögerung IST (EPV)</b>
Basisvortriebsdauer (AV)	<b>Verzögerung IST (AV)</b>	
	det. Dauer AV: 181 d (01.03.2018)	
Beginn EPV und AV: 26.10.2015	deterministische Dauer EPV und AV: 676 d (01.09.2017)	

Für die Modellierung des Vortriebs nach Norden im Modell des EPV wird eine **Basisvortriebsdauer+Verzögerung Logistik+Verzögerung IST** von 842 Tagen (deterministisch) ermittelt. Die Vortriebsdauer im AV liegt deterministisch bei 695 Tagen.

## 5.4 Ermittlung Verzögerungen Prognose

Basisvortriebsdauer	Verzögerung Logistik	Verzögerung IST	<span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">D</span> Verzögerung Prognose
---------------------	----------------------	-----------------	--

Kapitel 5.4 bildet die Ergebnisse des Schrittes **D**), Ermittlung der **Verzögerung Prognose**, ab. Es wird empfohlen das Kapitel 5.4 in Zusammenschau mit Anlage 6 zu lesen.

Tabelle 8: Verzögerung Prognose

	Vortrieb Süd		Vortrieb Nord	
	EPV	AV	EPV	AV
vertraglicher Anteil Großereignisse	20,46%	0,88%	9,74%	1,37%
technischer Anteil Großereignisse	79,54%	99,12%	90,26%	98,63%
<b>Prognose Großereignisse [d]</b>				
Verhältnis Technischer zu Vertraglicher Anteil Verzögerung IST	25,72%	0,88%	10,80%	1,39%
Übertragener techn. Anteil Großereignisse des jeweils anderen Vertragsmodells aus 3) [d]	170	130	126	141
Prognose vertraglicher Anteil [d]	44	1	14	2
Summe prognostizierte Großereignisse [d]	214	131	140	143
<b>Anteile Außerordentliche Wartung [%]</b>				
Anteil außerordentliche Wartung IST an Verzögerung IST	19,70%	5,52%	4,29%	14,67%
Anteil Großereignisse IST an Verzögerung IST	80,30%	94,48%	95,71%	85,33%
Verhältnis außerordentliche Wartung IST zu Großereignisse IST	24,54%	5,85%	4,49%	17,19%
<b>Prognose Außerordentliche Wartung [d]</b>				
	Vortrieb Süd		Vortrieb Nord	
	EPV	AV	EPV	AV
Prognoseabschnitt [Tm]	10.191	1.899	77.790	1.641
Summe für den Abschnitt prognostizierte Großereignisse [d]	214	131	140	143
Anteil der zu berücksichtigenden Außerordentlichen Wartung [%]	5,85%	24,54%	17,19%	4,49%
Prognose Außerordentliche Wartung det. [d]	12	32	24	6
Verzögerung Prognose [d]	226	163	164	149

Tabelle 8 fasst die Ergebnisse der Ermittlung der **Verzögerung Prognose** und die der zugeordneten Zwischenschritte zusammen. Im Modell sind in allen Berechnungsschritten Bandbreiten hinterlegt, in der Tabelle sind nur gerundete deterministische Werte angegeben.

**a) Prognose technischen Anteil Großereignisse:**

Schematisch stellt Abbildung 45 dar, wie der aufgetretene **technische Anteil** der Großereignisse der **Verzögerung IST** als Grundlage der Prognose in das jeweilig andere Vertragsmodell übernommen wird.

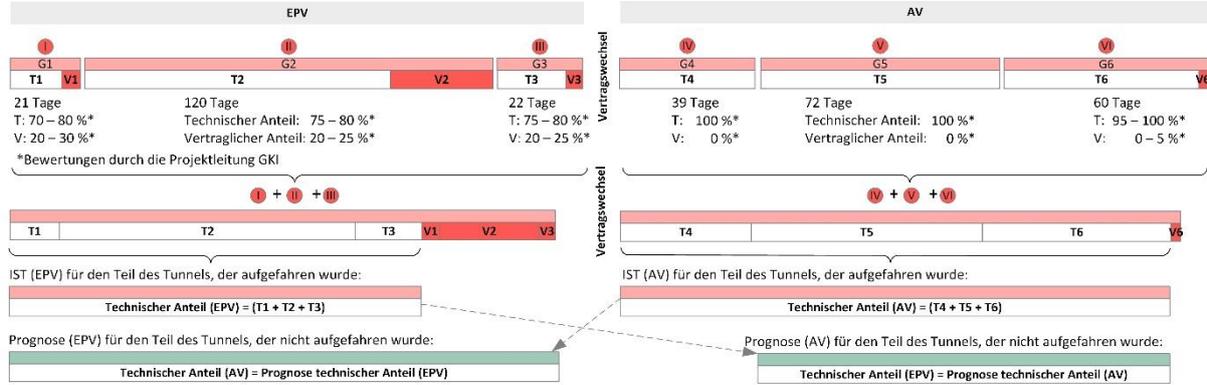


Abbildung 45: Schematische Darstellung der Verzögerung Prognose

Im Tunnel Süd wird für das Prognose-Modell der **technische Anteil** des EPV mit 170 Tagen und der des AV mit 130 Tagen angesetzt (vgl. Tabelle 8).

**b) Ermittlung Verzögerungen Prognose vertraglicher Anteil:**

Abbildung 46 bildet die Berücksichtigung des **vertraglichen Anteils** in der Prognose ab. Der ermittelte **vertragliche Anteil** der **Großereignisse** wird auf den jeweils vom anderen Vertragsmodell übernommenen **technischen Anteil** aufgeschlagen. Bezogen auf die Summe der Verzögerung Großereignisse beträgt der **vertragliche Anteil** im EPV 25,75 %, im AV 0,9 %.

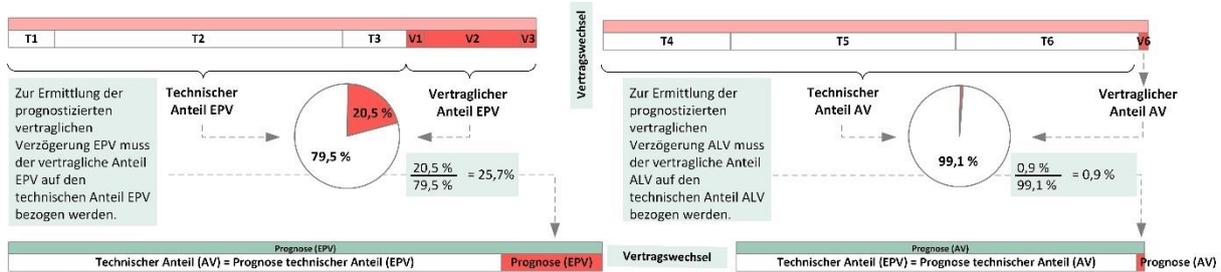


Abbildung 46: Vertraglicher Anteil Prognose Großereignisse Tunnel Süd

Für die Prognose des Vortriebs Süd im EPV beträgt der ermittelte **vertragliche Anteil** 44 Tage. Im AV des Vortriebs Süd beträgt dieser Anteil 1 Tag.

Abbildung 47 stellt einen Teil der Modellierung der **Verzögerung Prognose** für den nicht aufgefahrenen AV Vortrieb Süd dar. In dieser Abbildung ist die Verteilungsdichte der Summe der **vertraglichen** und der **technischen Verzögerung** der im Modell nicht aufgefahrenen Tunnelstrecke dargestellt. Diese basiert auf dem **technischen Anteil** der beim Vortrieb im EPV aufgetretenen **Großereignisse**, welche mit dem im Schritt C) ermittelten **vertraglichen Anteil** des AV aggregiert wird.

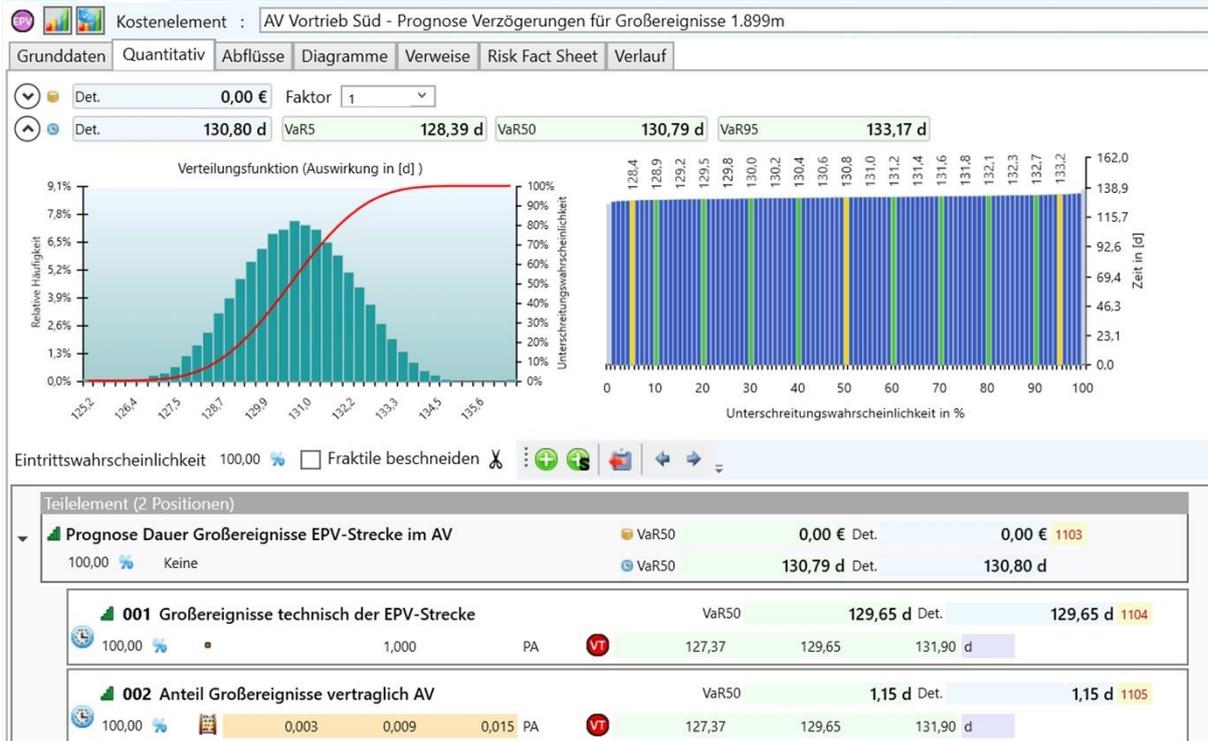


Abbildung 47: Auszug RIAAT – Prognose vertraglicher Anteil AV Süd

### c) Ermittlung Verzögerung Prognose außerordentliche Wartung:

Abbildung 48 bildet die Berücksichtigung der **außerordentlichen Wartung** in der Prognose ab. Die im Schritt **B)** ermittelte Prognose wird hierfür mit dem Anteil an **außerordentlicher Wartung** beaufschlagt, wie diese im Vortrieb des betrachteten Abschnittes tatsächlich aufgetreten ist.

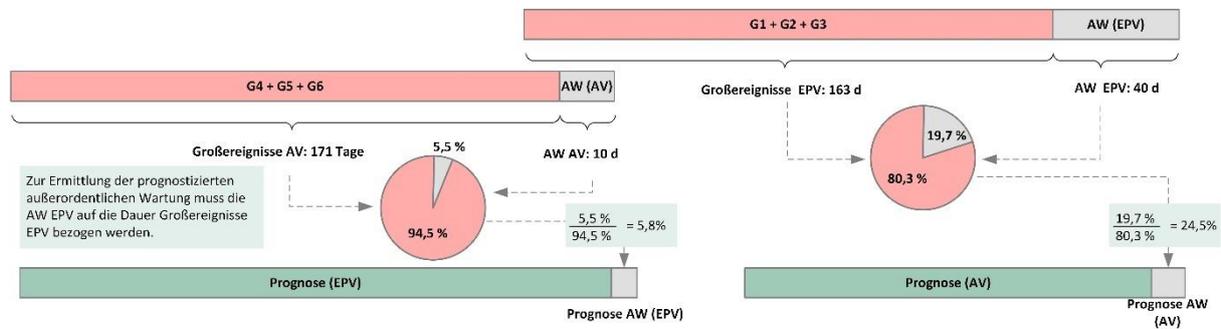


Abbildung 48: Prognose außerordentliche Wartung

Zur Veranschaulichung ist die Modellierung der **außerordentlichen Wartung** in der **Verzögerung Prognose AV** im Vortrieb Süd in Abbildung 49 abgebildet. Die Strecke wurde tatsächlich im EPV aufgefahren, daher wird dessen Anteil der **außerordentlichen Wartung** herangezogen und mit der in Abbildung 48 dargestellten Verteilungsdichte aggregiert.

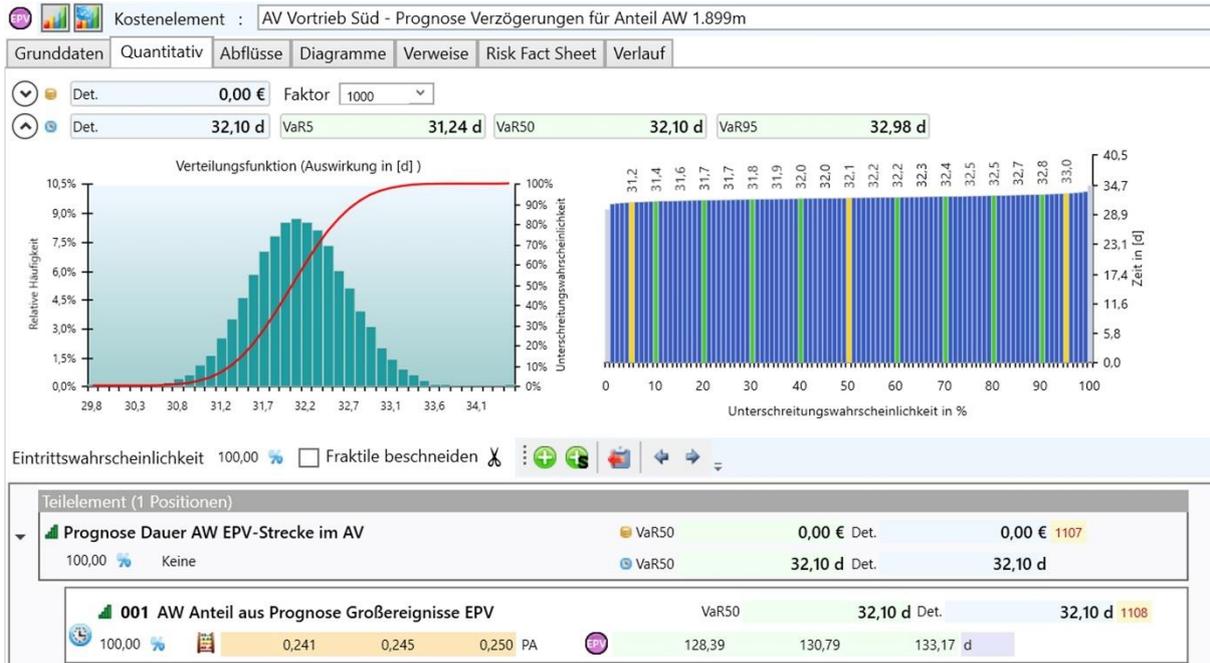


Abbildung 49: Auszug RIAAT – Prognose außerordentliche Wartung AV Süd

Die deterministischen Ergebnisse der Ermittlung der **außerordentlichen Wartung** sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

**d) Prognoseanteil der Vortriebsdauer:**

Die Summe des **prognostizierten technischen Anteils**, des **prognostizierten vertraglichen Anteils** sowie der ermittelten **außerordentlichen Wartung** bildet die **Verzögerung Prognose**. Durch das Hinzufügen der **Verzögerung Prognose** zur **Basisvortriebsdauer + Verzögerung Logistik + Verzögerung IST** ergibt sich die **Gesamt Vortriebsdauer**. Aus dieser lässt sich das **prognostizierte Fertigstellungsdatum** ermitteln. Beide Werte sowie das Fertigstellungsdatum sind in Tabelle 9 mittels Angabe der deterministischen Ergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 9: Ansetzbare Verzögerung Prognose

	Vortrieb Süd		Vortrieb Nord	
	EPV	AV	EPV	AV
Verzögerung Prognose [d]	226	163	164	149
Basisvortriebsdauer + Verzögerung Logistik + Verzögerung IST + Verzögerung Prognose	1276	1020	1005	843
Fertigstellungsdatum (det.)	24.04.2019	11.08.2018	27.11.2018	18.06.2018

Für die **Verzögerung Prognose** wird im Modell EPV des Vortriebs nach Süden eine Dauer von 226 Tagen angesetzt, als prognostizierter Fertigstellungstermin kann der 24.04.2019 ermittelt werden. Für das Modell des AV Süd liegt die **Verzögerung Prognose** bei 163 Tage, mit dem 10.08.2018 als Fertigstellungsdatum.

		deterministische Dauer EPV: 171 d (19.02.2018)	det. Dauer EPV: 203 d (10.09.2018)	det. Dauer EPV: 226 d (24.04.2019)
EPV	Basisvortriebsdauer (EPV)	Verzögerung Logistik	Verzögerung IST	Verzögerung Prognose
AV	Basisvortriebsdauer (AV)	Verzögerung IST	Verzögerung Prognose	
	Beginn EPV und AV: 26.10.2015	deterministische Dauer EPV und AV: 676 d (01.09.2017)		
		G A T V W	G A T V W	
		det. Dauer AV: 181 d (01.03.2018)	det. Dauer AV: 163 d (10.08.2018)	

Für die Modellierung des Vortriebe nach Noden im Modell des EPV wird eine **Basisvortriebsdauer+Verzögerung Logistik+Verzögerung IST+Verzögerung Prognose** von 1005 Tagen (deterministisch) ermittelt. Die Vortriebsdauer im AV liegt deterministisch bei 843 Tagen. Für den EPV ergibt sich das Fertigstellungsdatum des 27.11.2018, für den AV der 18.06.2018.



Das Modell prognostiziert eine Bauzeitverkürzung zwischen 14,5% und 21,5 % bei vollständiger Projektabwicklung im Vertragsmodell des Allianzvertrages TIWAG im Vergleich zu einer vollständigen Projektabwicklung im Einheitspreisvertrag (vgl. Abbildung 50).

Ein Vergleich der Bauzeiten der beiden Vertragsmodelle im Vortrieb Süd ist in Abbildung 51 dargestellt. Da aufgrund der größeren Anzahl von vorhandenen IST-Daten die Bandbreite der Bauzeit im AV sehr schmal ausfällt ist diese nur durch eine Säule, den links angeordneten grünen Peak, abgebildet. Gleichzeitig ist die Bandbreite der Bauzeit im EPV durch den höheren Prognoseanteil deutlich höher. Anstatt von 6 Tagen, wie im AV, beträgt diese im EPV 150 Tage.

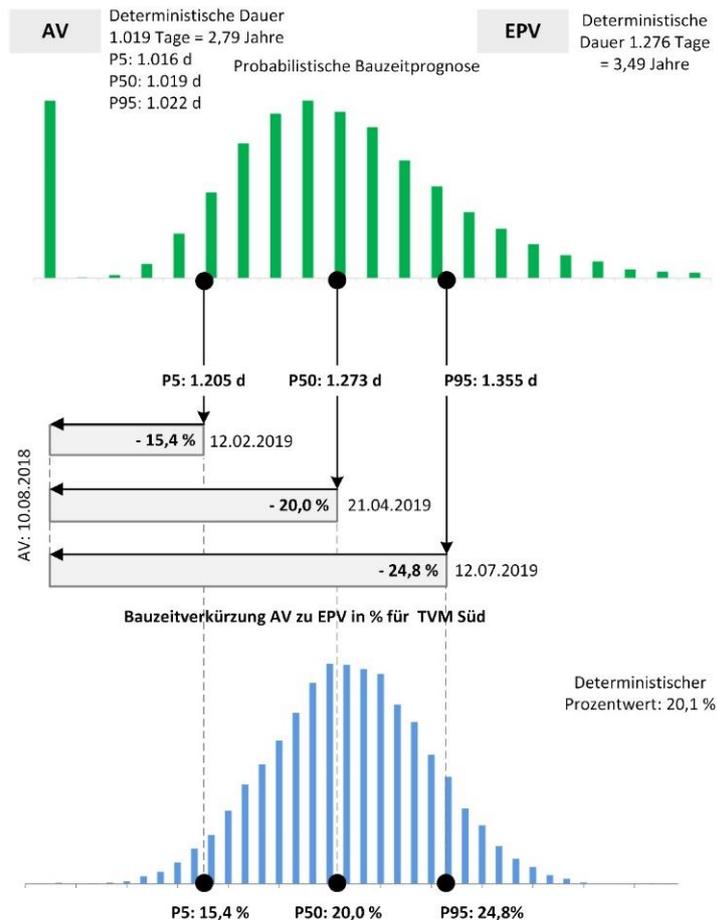


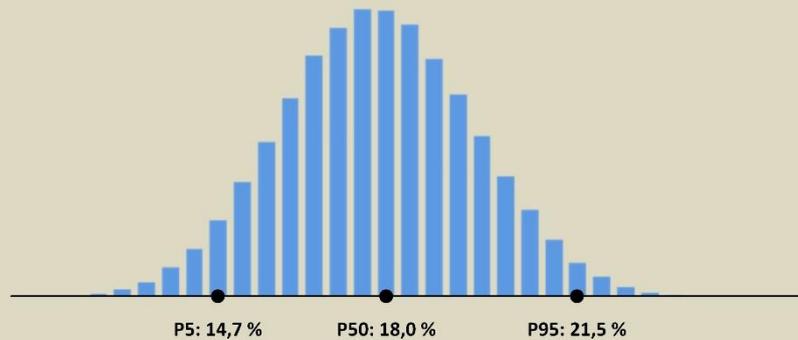
Abbildung 51: Vergleich Vortriebsdauern Vortrieb Süd

Wird das 5 % Perzentil P5 (Wahrscheinlichkeit, dass die Bauzeit diese Dauer unterschreitet liegt bei 5 %) beider Modelle miteinander verglichen, so fällt dieses im AV um 15,4 % geringer aus als im EPV. Bei P50 beträgt die Differenz der Bauzeit 20 % bei P95 beträgt sie 24,8 %. Die blauen Säulen unten in der Grafik stellen den Faktor der Bauzeitreduzierung des Modells Allianzvertrags TIWAG im Vergleich zum Modell Einheitspreis in der resultierenden Verteilungsdichte dar.

Ein Vergleich der Modelle des Vortriebs nach Norden führt zu einem ähnlichen Ergebnis. Auch dort fällt die prognostizierte Bauzeit im AV geringer aus als im EPV (vgl. Anlage 2).

Evaluiert durch den Vergleich der Modelle der Vortriebe nach Süden und Norden, zeigt das Ergebnis, dass es, bei vollständiger Abwicklung mit dem Modell **Allianzvertrag** TIWAG (Nord- und Südvortrieb), mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % zu einer **Bauzeitverkürzung von mindestens 18,0 %** gekommen wäre.

Bauzeitverkürzung AV zu EPV in % für die Vortriebe nach Norden und Süden



## 7 Literaturverzeichnis

Deutschmann, Daniel; Hagen, Christian; Kurz, Thomas (2012): The Austrian Alliance Contract® - Ein neues Vergabe- und Vertragsmodell für Österreich. In: *RPA - Recht und Praxis der öffentlichen Auftragsvergabe* (3), S. 125–132.

Girmscheid, Gerhard (2011): Risikoallokationsmodell (RA-Modell): Zeitliche Risikobelastung— Der kritische Erfolgsfaktor für Public Private Partnerships Teil 2. In: *Bauingenieur* 86 (April 2011), S. 175–185. Online verfügbar unter [https://www.cttconsulting.ch/dokumente/fachartikel/2011\\_risikoallokation2.pdf](https://www.cttconsulting.ch/dokumente/fachartikel/2011_risikoallokation2.pdf).

GKI GmbH (Hg.) (2015-2019): Bautagesbericht.

Gürtler, Volkhard (2007): Stochastische Risikobetrachtung bei PPP-Projekten. Zugl.: Dresden, Techn. Univ., Diss., 2007 u.d.T.: Gürtler, Volkhard: Risikoanalysen von PPP-Projekten mit vollständigen Finanzplänen und stochastischen Ansätzen. Renningen: Expert-Verl. (Aus Forschung und Praxis, 9).

Heid Schiefer Rechtsanwälte (Hg.) (2017): Allianzvertrag. über Bauleistungen für das "Gemeinschaftskraftwerk Inn" Los MSBC "Treibwasserweg Maria Stein".

Herdina, Johann (2019): Abwicklung von Tiefbauprojekten mit dem alternativen Vertragsmodell "Allianzvertrag". Randbedingungen, Erfahrungen, Vor- und Nachteile, zukünftige Anwendungen. In: Helmut Richter und Jörg Theberath (Hg.): U-Verkehr und unterirdisches Bauen. STUVA-Tagung 2019 - Internationales Forum für Tunnel und Infrastruktur, 26. bis 28. November 2019, Langfassungen der Vorträge, Bd. 53. Berlin: Ernst & Sohn (Forschung + Praxis, 53), S. 228–232.

Herdina, Johann (2020): Allianzvertrag versus Einheitspreisvertrag. In: Detlef Heck (Hg.): 11. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar, Tagungsband 2020. Wa(h)re Kooperation im Bauvertrag - Notwendigkeit oder notwendiges Übel? 24. und 25. Jänner 2020. Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, Technische Universität Graz. Graz: Verlag d. Technischen Universität Graz, S. 115–130.

Sander, Philip (2012): Probabilistische Risiko-Analyse für Bauprojekte. Entwicklung eines branchenorientierten softwaregestützten Risiko-Analyse-Systems. Zugl.: Innsbruck, Univ., Diss., 2012. 1. Aufl. Innsbruck: innsbruck univ. press.

Sander, Philip; Spiegl, Markus; Schneider, Eckardt (2009): Probabilistische Kosten- und Risiko-Analyse für große Bauprojekte. In: Detlef Heck und Hans Lechner (Hg.): Festschrift 1969 - 2009. 40 Jahre Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft. Graz: Verl. d. Techn. Univ. Graz, S. 507–518.

Schneider, Eckardt; Spiegl, Markus; Sander, Philip (2010): Die exakte Zahl - Gedanken zum Umgang mit Unschärfen. In: Rainer Wanninger (Hg.): Die wirtschaftliche Seite des Bauens. Festschrift zum 60. Geburtstag von Rainer Wanninger. Unter Mitarbeit von Rainer Wanninger. Braunschweig: IBB (Schriftenreihe des Instituts für Bauwirtschaft und Baubetrieb, 50), S. 605–616.

TIWAG (2017): Bericht zum Auftragnehmerwechsel.

Wachter, Robert (2019): Triebwasserstollen für das Gemeinschaftskraftwerk Inn. Hg. v. PORR. Online verfügbar unter <https://worldofporr.com/de/174-2019/gemeinschaftskraftwerk-inn/>, zuletzt geprüft am 20.06.2022.

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Weg-Zeit-Diagramm Vortriebe Maria Stein.....	1
Abbildung 2: Deterministische Anteile <b>Verzögerung IST</b> Vortrieb Süd.....	3
Abbildung 3: Modellierter Vortrieb Süd .....	3
Abbildung 4: Verteilungsdichte Bauzeitverkürzung durch AV .....	4
Abbildung 5: Gemeinschaftskraftwerk Inn .....	9
Abbildung 6: Zeitstrahl Baubeginn bis Beginn AV.....	10
Abbildung 7: Gesamtvortrieb .....	10
Abbildung 8: RIAAT-Logo.....	13
Abbildung 9: Digitales RIAAT Modell – Beispiel probabilistische Bauzeitanalyse.....	13
Abbildung 10: Generischer Modellaufbau und Methodik .....	14
Abbildung 11: Eingabe in RIAAT.....	15
Abbildung 12: Verteilungsfunktion und Lorenzkurve .....	15
Abbildung 13: Generisches Modell .....	20
Abbildung 14: Ablauf Basisvortriebsdauer.....	22
Abbildung 15: Visualisierung Ermittlung Basisvortriebsdauer.....	22
Abbildung 16: Prozess Verzögerung Logistik .....	24
Abbildung 17: Visualisierung Logistik.....	24
Abbildung 18: Prozess Verzögerung IST .....	26
Abbildung 19: Visualisierung Verzögerung IST .....	26
Abbildung 20: Prozess Verzögerung Prognose.....	28
Abbildung 21: Visualisierung Verzögerung Prognose.....	28
Abbildung 22: IST Vortriebsdauer Tunnel Süd.....	31
Abbildung 23: Unterscheidung Netto Vortriebsdauer und IST Verzögerungen Tunnel Süd .....	32
Abbildung 24:Verhältnis Vortrieb-Verzögerung Vortrieb Süd EPV.....	32
Abbildung 25: Verhältnis Vortrieb-Verzögerung Vortrieb Süd AV.....	32
Abbildung 26: Untersuchung IST Verzögerungen Tunnel Süd.....	32
Abbildung 27: Verzögerungen IST Vortrieb Süd EPV.....	33
Abbildung 28: Verzögerungen IST Vortrieb Süd AV.....	33
Abbildung 29: Netto Vortriebsleistungen Vortrieb Süd .....	33
Abbildung 30: Ermittlung Basisvortriebsdauer Vortrieb Süd .....	33
Abbildung 31: Verzögerung durch Logistik .....	36
Abbildung 32: Stochastische Bewertung Verzögerung aus Logistik Vortrieb Süd.....	36
Abbildung 33: Verzögerung Logistik Vortriebe EPV [min/Tm] .....	37
Abbildung 34: Verzögerung Logistik Vortriebe AV [min/Tm].....	37
Abbildung 35: Reduzierung Verzögerung Logistik .....	37
Abbildung 36: Reduzierte Basisvortriebsleistung Tunnel Süd.....	37
Abbildung 37: Reduzierte Basisvortriebsleistung .....	38
Abbildung 38: Berechnung Vortriebsdauer mit reduzierter Vortriebsleistung.....	38
Abbildung 39: Verteilung Verzögerung Logistik Tunnel Süd .....	39
Abbildung 40: IST Verzögerungen Vortrieb Süd.....	40
Abbildung 41: Stochastische Bewertung IST Verzögerungen Vortrieb Süd.....	41
Abbildung 42: Verhältnis technische und vertragliche Verzögerung Tunnel Süd.....	41
Abbildung 43: Verhältnis der Außerordentlichen Wartung zur Verzögerung IST Vortrieb Süd ..	41
Abbildung 44: Bestandteile Verzögerung IST .....	41
Abbildung 45: Schematische Darstellung der Verzögerung Prognose .....	44

Abbildung 46: Vertraglicher Anteil Prognose Großereignisse Tunnel Süd .....	44
Abbildung 47: Auszug RIAAT – Prognose vertraglicher Anteil AV Süd .....	45
Abbildung 48: Prognose außerordentliche Wartung .....	45
Abbildung 49: Auszug RIAAT – Prognose außerordentliche Wartung AV Süd .....	46
Abbildung 50: Auszug RIAAT – Faktor Bauzeitverkürzung AV gegenüber EPV .....	48
Abbildung 51: Vergleich Vortriebsdauern Vortrieb Süd.....	49

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Begriffe.....	17
Tabelle 2: Vortriebsdauern .....	31
Tabelle 3: Brutto und Netto Leitungen .....	34
Tabelle 4: Verzögerung Logistik.....	35
Tabelle 5: Ansetzbare Verzögerung Logistik.....	39
Tabelle 6: Verzögerungen IST .....	40
Tabelle 7: Ansetzbare Verzögerung IST .....	42
Tabelle 8: Verzögerung Prognose .....	43
Tabelle 9: Ansetzbare Verzögerung Prognose .....	46





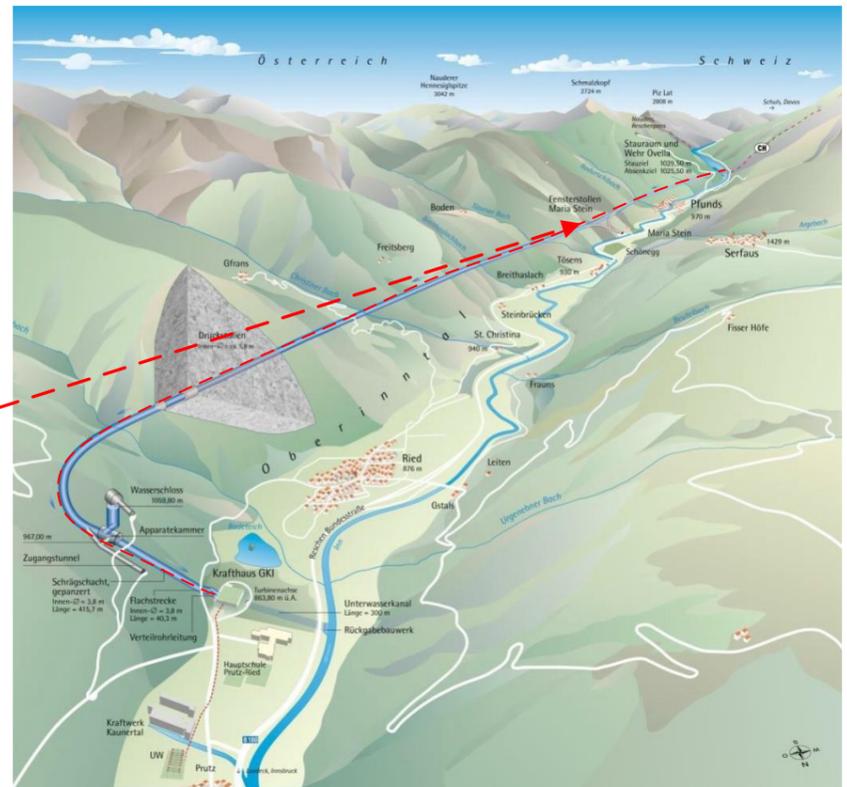
# ANLAGEN



### 1 Projektbeschreibung Gemeinschaftskraftwerk Inn (GKI)

- Ausleitungskraftwerk im Grenzgebiet zwischen Österreich und der Schweiz
- Anteilsaufteilung GKI: zu 14,0 % Engadiner Kraftwerke AG mit Sitz in der Schweiz und zu 86,0 % die österreichische TIWAG Tiroler Wasser AG mit Sitz in Österreich.
- geplante Jahresstromerzeugung 440 GWh,
- geplante Stromverbrauchsdeckung von 8,0 % des österreichischen Bundeslandes Tirol

Baubereiche Wasserfassung bei Ovella Baubereich Druckwasserstollen  
 Baubereich Krafthaus in Prutz/Ried (Österreich)



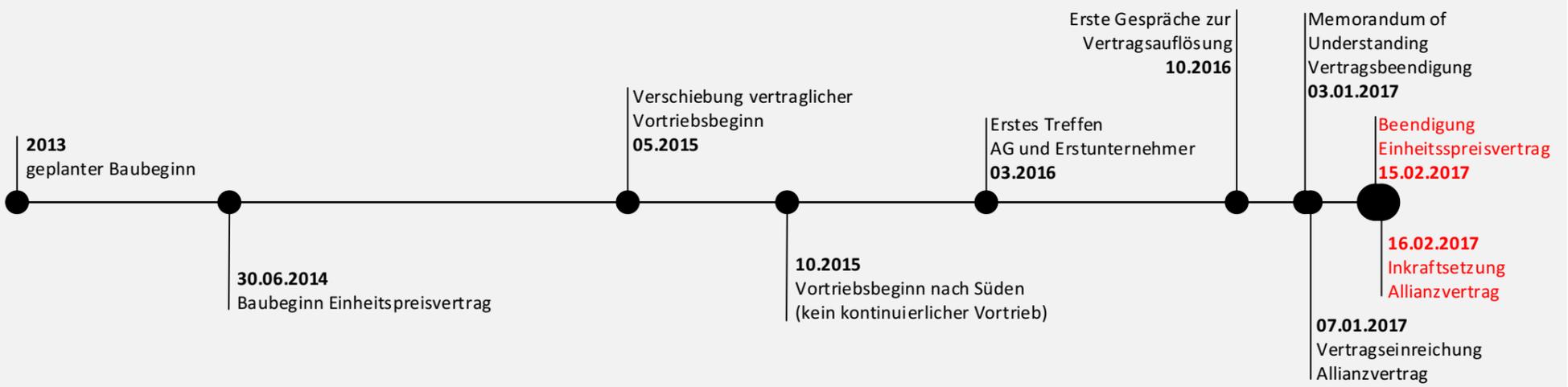
#### 1.1 BESTANDTEIL DER GEGENÜBERSTELLUNG

##### Baulos Maria Stein:

Vortrieb eines **Druckstollen** mittels zweier Tunnelvortriebsmaschinen:  
 Gesamtvortriebslänge 23,5km  
 Auskleidekleidung mittel Tübbing  
 Durchmesser 6,50 m  
 Zwei Tunnelbohrmaschinen, Vortrieb gleichzeitig nach Norden und Süden

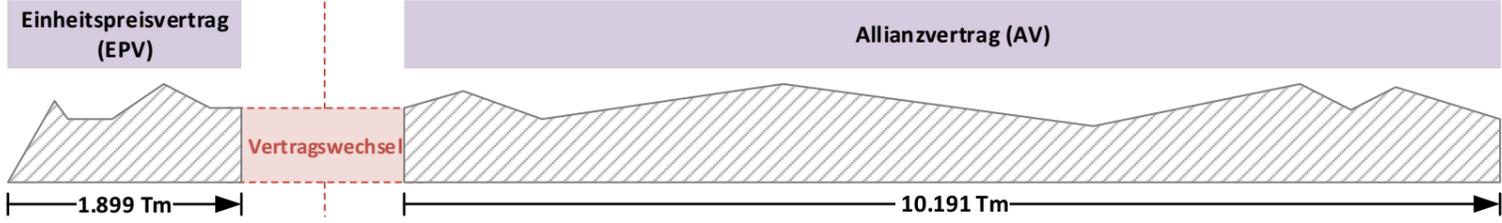
alle Darstellungen beziehen sich auf den Vortrieb im Tunnel Süd

### 1.2 Projekthistorie



### 2 Erbrachte Leistung

Alle Abbildungen beziehen sich auf den Vortrieb Süd  
 Analyse, Berechnung und Prognose für den Vortrieb Nord sind analog



**Einheitspreisvertrag nach ÖNORM:**

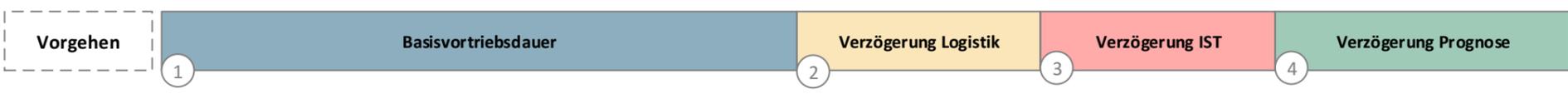
- Gliederung in Positionen, Mengen, Einheits-, Gesamtpreise
- Tunnelvortrieb Süd: 1.899 Tunnelmeter
- Tunnelvortrieb Nord: 1.641 Tunnelmeter
- Vortriebsdauer TVM Süd: 26.10.2015 bis 14.02.2017
- Vortriebsdauer TVM Nord: 25.02.2016 bis 14.02.2016

**Allianzvertrag:**

- Anreizbasiertes Vertrag mit Bonus-Malus-Vereinbarung
- Tunnelvortrieb Süd: 10.191 Tunnelmeter
- Tunnelvortrieb Nord: 7.790 Tunnelmeter
- Vortriebsdauer TVM Süd: 31.03.2017 bis 10.07.2019
- Vortriebsdauer TVM Nord: 06.07.2017 bis 09.04.2019

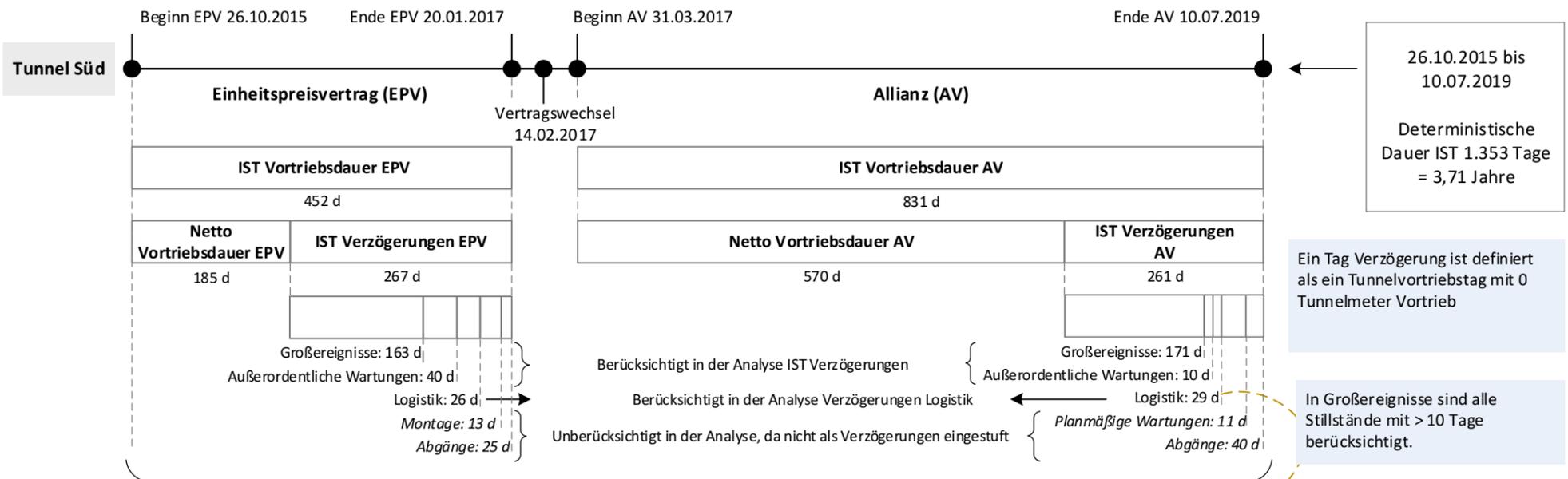
### 3 Untersuchungsgegenstand: Probabilistische Gegenüberstellung der Vortriebsdauern Einheitspreisvertrag und Allianzvertrag

**Methodik:** Retrospektive Terminplanuntersuchung & probabilistischer Terminplanprognose

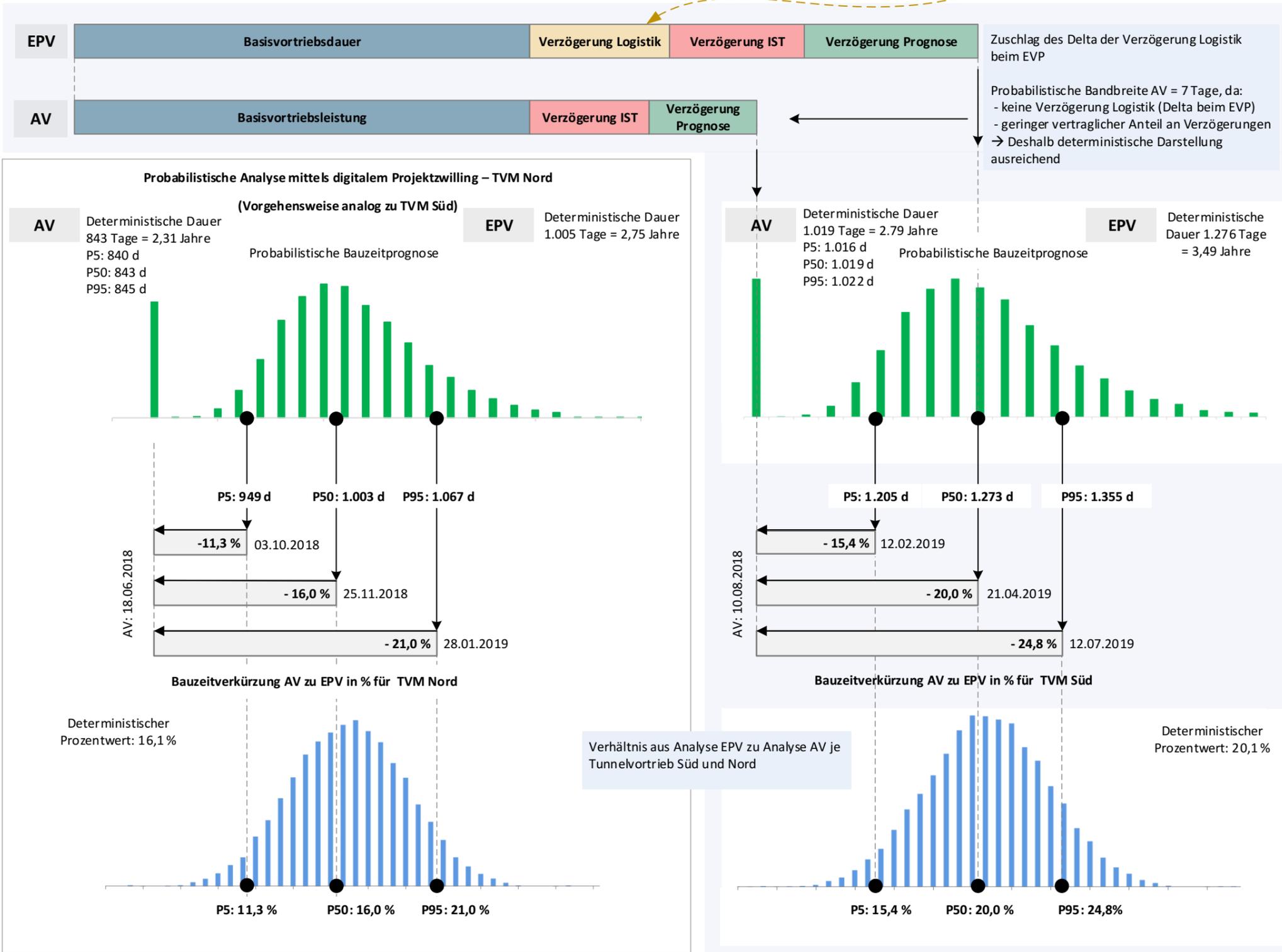




**1 Forensische Untersuchung der IST-Bauzeit am Beispiel TVM Süd (TVM Nord analog)**



**2 Probabilistische Analyse mittels digitalem Projektzwilling – TVM Süd**



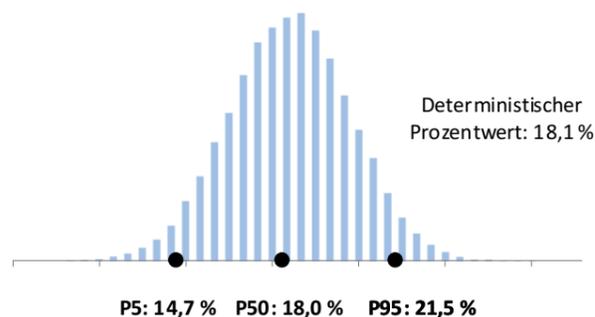
**3 Gesamtergebnisse (TVM Süd und TVM Nord)**

Bauzeitverkürzung AV zu EPV in % für die Vortriebe nach Norden und Süden

Die Analyse der unabhängigen Vortriebe TVM Süd und TVM Nord zeigen ähnliche Ergebnisse. Anzumerken ist, dass eingehende Betrachtung der Qualitätsunterscheide sowie Unterscheide in der Lösungskompetenz sind mittels des aufgestellten Modells nicht bewertbar sind.

Die Überlagerung der beiden Ergebnisse wird in der rechten Grafik dargestellt:

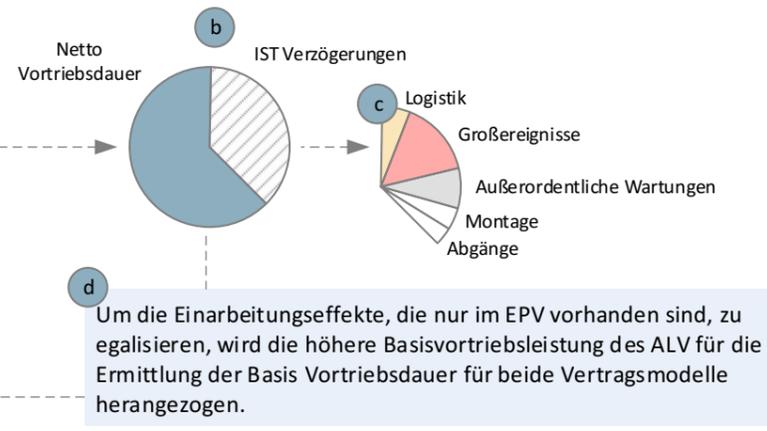
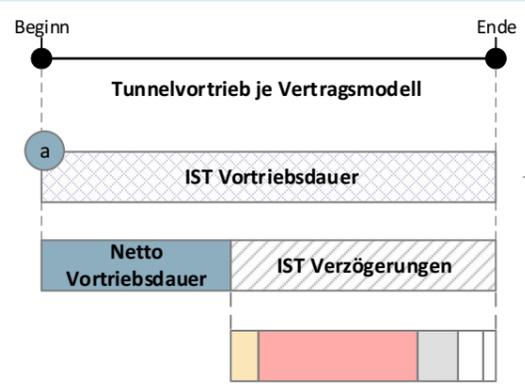
- Mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % liegt die Bauzeitverkürzung (Effizienzvorteil) des Allianzvertrages zwischen 14,7 % und 21,5 %.
- Mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 % ist die Bauzeitverkürzung des Allianzvertrages gegenüber des Einheitspreisvertrages kleiner als 14,7 %.



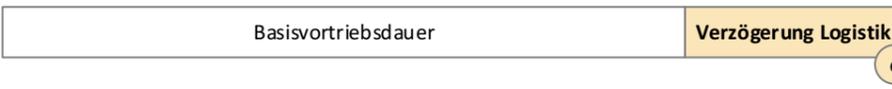
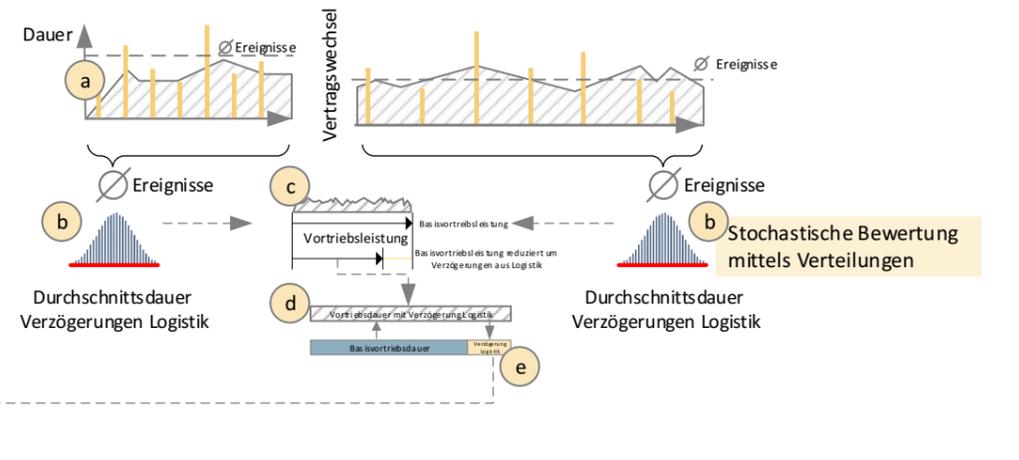




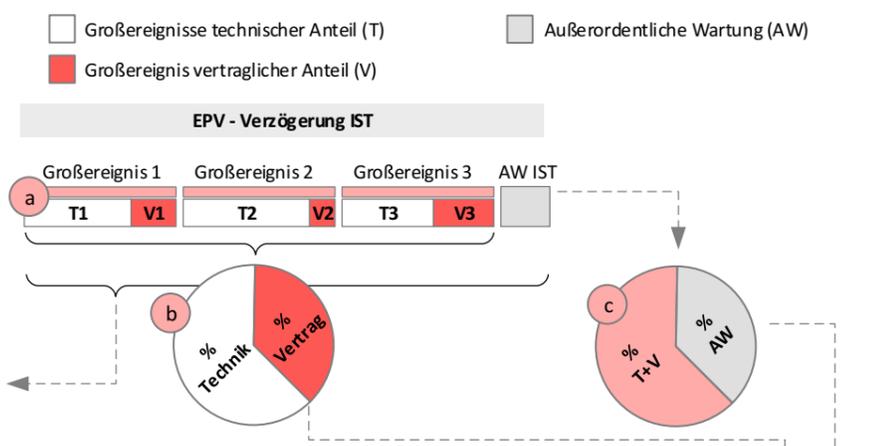
- A Ermittlung Basisvortriebsdauer**
- a retrospektive Untersuchung der IST Vortriebsdauer
  - b Ermittlung der Netto Vortriebsdauer
  - c Kategorisierung der IST Verzögerungen
  - d Ermittlung der Basisvortriebsdauer (zur Herstellung der Vergleichbarkeit der Vertragsmodelle)



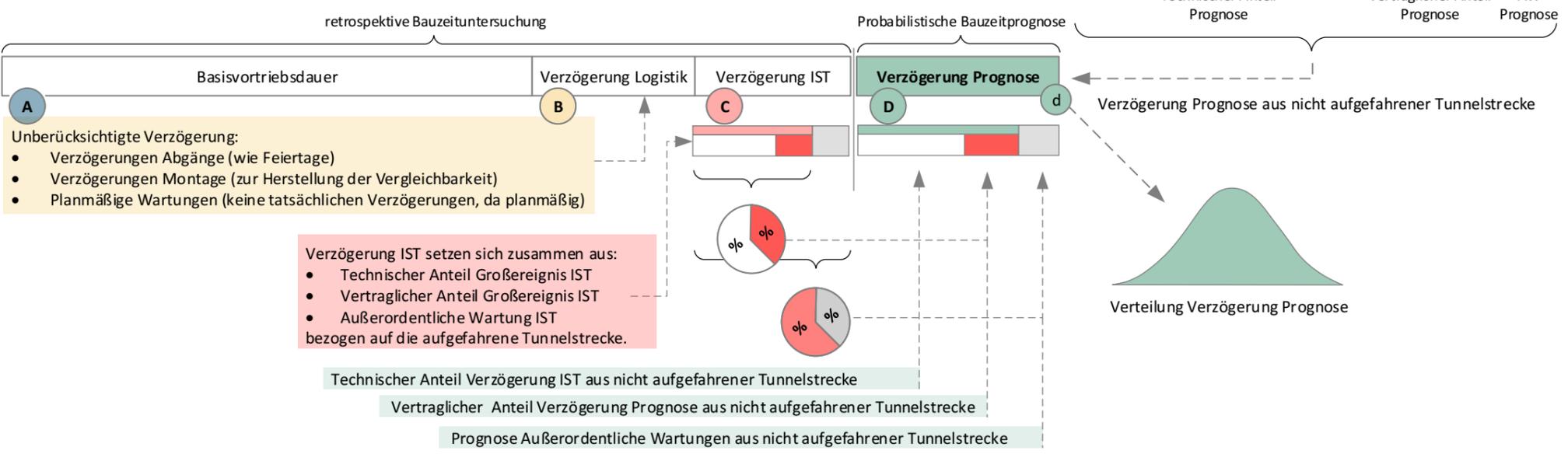
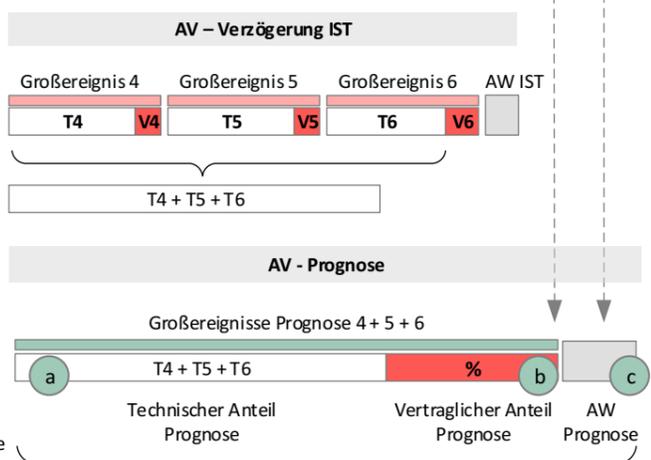
- B Ermittlung Verzögerung Logistik**
- a Ermittlung Verzögerung durch Logistik je Vertragsmodell
  - b Stochastische Bewertung der Verzögerungen durch Logistik für die Prognoseabbildung
  - c Reduzierung Basisvortriebsleistung der Vortriebe zur Berücksichtigung der Verzögerung aus Logistik
  - d Ermittlung Verzögerung Logistik im EPV
  - e Korrektur Vortriebsdauer um Verzögerung Logistik



- C Analyse Verzögerungen IST**
- a Stochastische Bewertung der vertraglichen und technischen Anteile in Prozent je Großereignis
  - b Ermittlung der Verhältnisse vertraglicher zu technischer Anteil aus Großereignisse IST
  - c Ermittlung der Verzögerungen IST aus außerordentliche Wartungen
  - d Hinzufügen der Verzögerungen IST aus Großereignissen zur Vortriebsdauer



- D Ermittlung der Verzögerungen Prognose**  
 (für den Teil des Tunnels, der nicht mit dem gleichem Vertragsmodell aufgefahren wurde)
- a Probabilistische Ermittlung der Verzögerungen Prognose für den technischen Anteil der Großereignisse (entspricht technischen Anteil Großereignisse aus Verzögerungen IST des jeweils anderen Vertragsmodells)
  - b Probabilistische Ermittlung der Verzögerungen Prognose für vertraglichen Anteil über Verhältnis aus C
  - c Ermittlung der Dauer Prognose für die außerordentliche Wartung über Verhältnis Verzögerungen Großereignisse IST zu C
  - d Hinzufügen des Prognoseanteils zur Vortriebsdauer für nicht aufgefahrte Tunnelstrecke



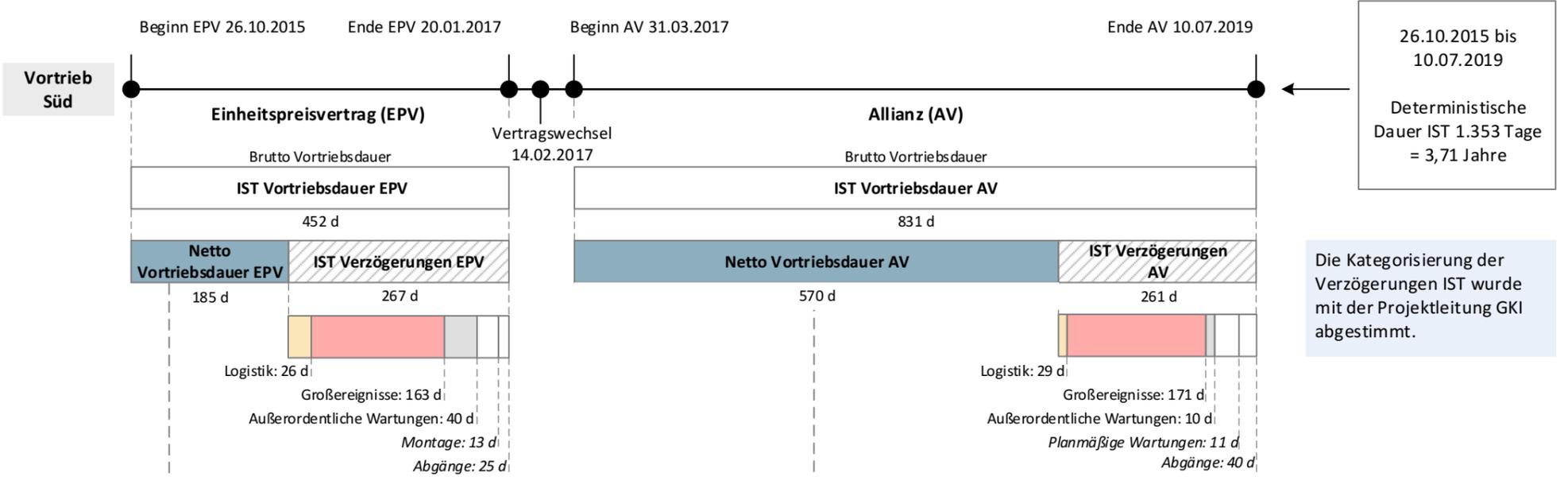


**A ERMITTLUNG DER BASISVORTRIEBSDAUER**

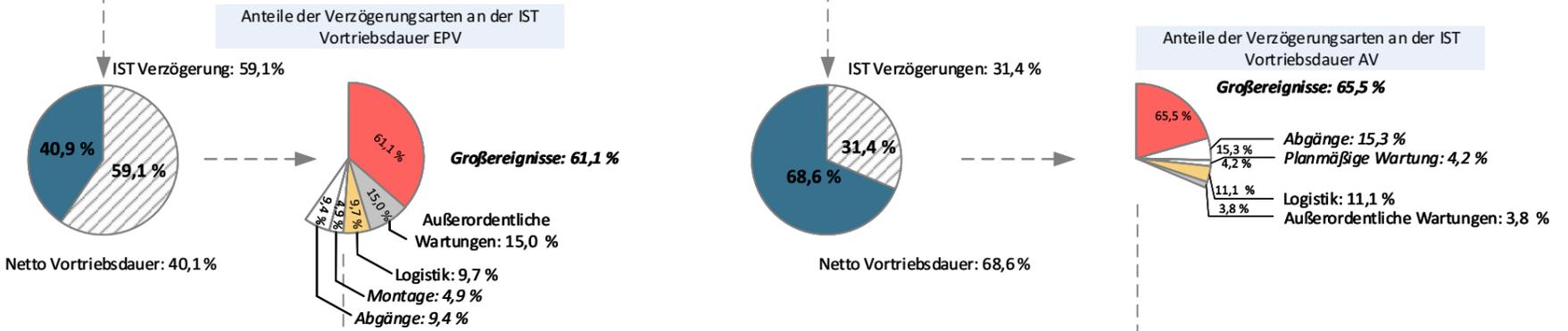
Basisvortriebsdauer	Verzögerung Logistik	Verzögerung IST	Verzögerung Prognose
---------------------	----------------------	-----------------	----------------------

**a Retrospektive Untersuchung der IST Vortriebsdauer - TVM Süd (TVM Nord analog)**

- Die forensische Bauzeitanalyse der beiden Tunnelvortriebsmaschinen wird zur Ermittlung der Leistungswerte herangezogen.
- Ein Tag Verzögerung ist definiert als ein Tunnelvortriebstag mit 0 Tunnelmeter Vortrieb
- In Großereignisse sind alle Stillstände mit > 10 Tage berücksichtigt.



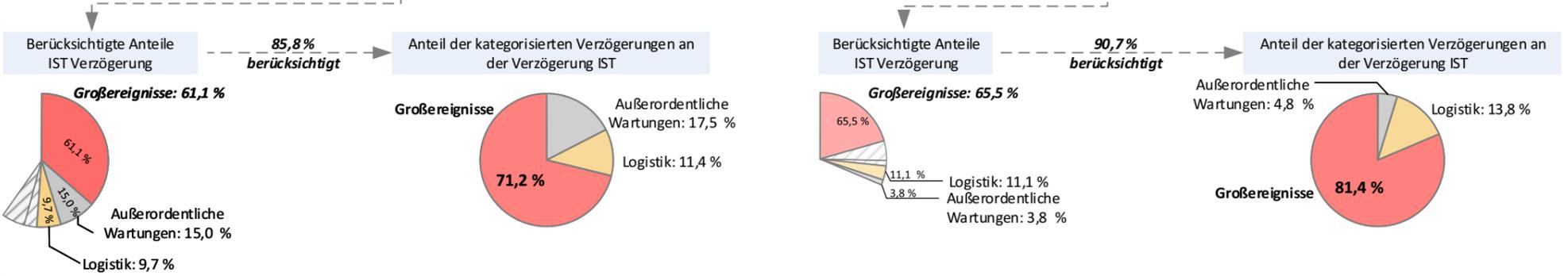
**b Ermittlung der Nettovortriebsdauer für EPV und AV**



**c Kategorisierung der IST Verzögerungen**

- Für die Vergleichbarkeit der Vertragsmodelle werden die Verzögerungen aus Montage, welche nur beim EPV stattgefunden haben, nicht berücksichtigt.
- Planmäßige Wartungen und Abgänge (Feiertage) sind keine tatsächlichen Verzögerungen und bleiben dabei in der Simulation ebenfalls unberücksichtigt.

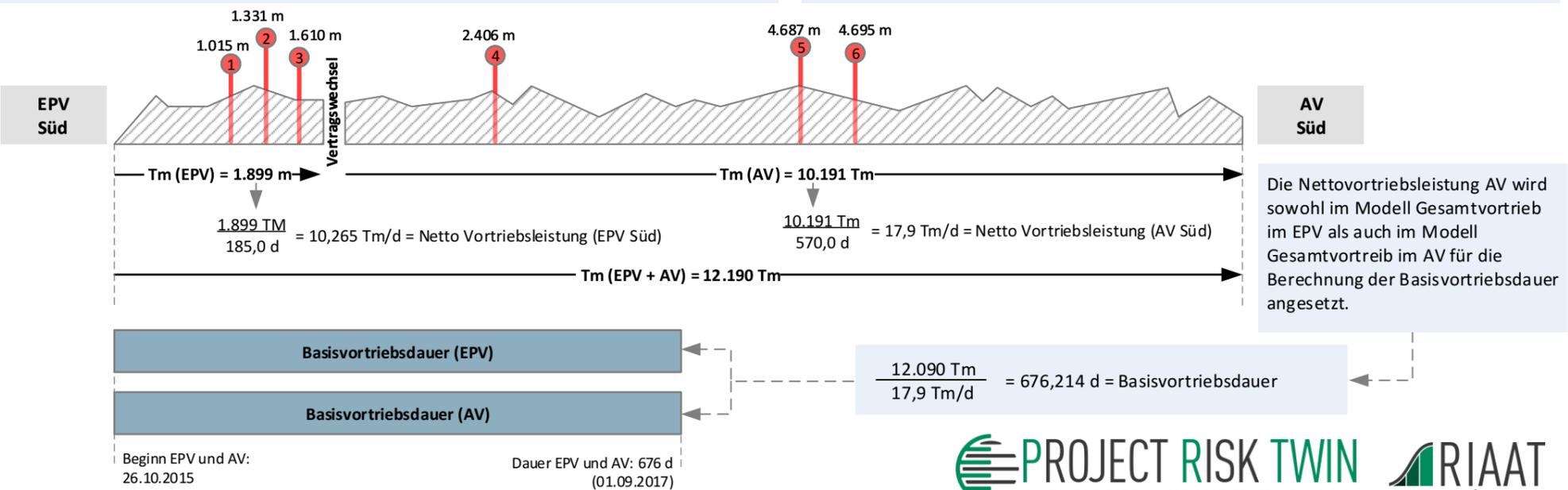
- Kategorie: Großereignisse (G)
- Kategorie: Außerordentliche Wartungen (AW)
- Kategorie: Logistik (L)
- Kategorie: Montage TVM (M) [wird nicht berücksichtigt]
- Kategorie: Planmäßige Wartungen (PW)
- Kategorie: Abgänge (A) [wird nicht berücksichtigt]



**d Ermittlung der Basisvortriebsdauer**

Um die Einarbeitungseffekte, die maßgeblich im EPV vorhanden sind, zu egalisieren, wird die Basisvortriebsleistung des AV für beide Vertragsmodelle als Basis herangezogen.

Vertragspezifische Korrekturen erfolgen in nachfolgend aufgeführten, separaten Schritten (Logistik, Außerordentliche Wartungen, Großereignissen)





**B ERMITTLUNG KORREKTUR LOGISTIK**

Basisvortriebsdauer	<b>Verzögerung Logistik</b>	Verzögerung IST	Verzögerung Prognose
---------------------	-----------------------------	-----------------	----------------------

Verzögerungen aus logistischen Problemen, welche verschiedenen Ursachen zugeordnet werden können:

- Stillstände aufgrund Wechsel der TVM
- Unterschiedliche Schichtbetriebe
- Stillstände aufgrund Defizite des Gleiskonzepts

- Wartungsarbeiten an Weichen
- Verklemmungen am Gleis
- etc.

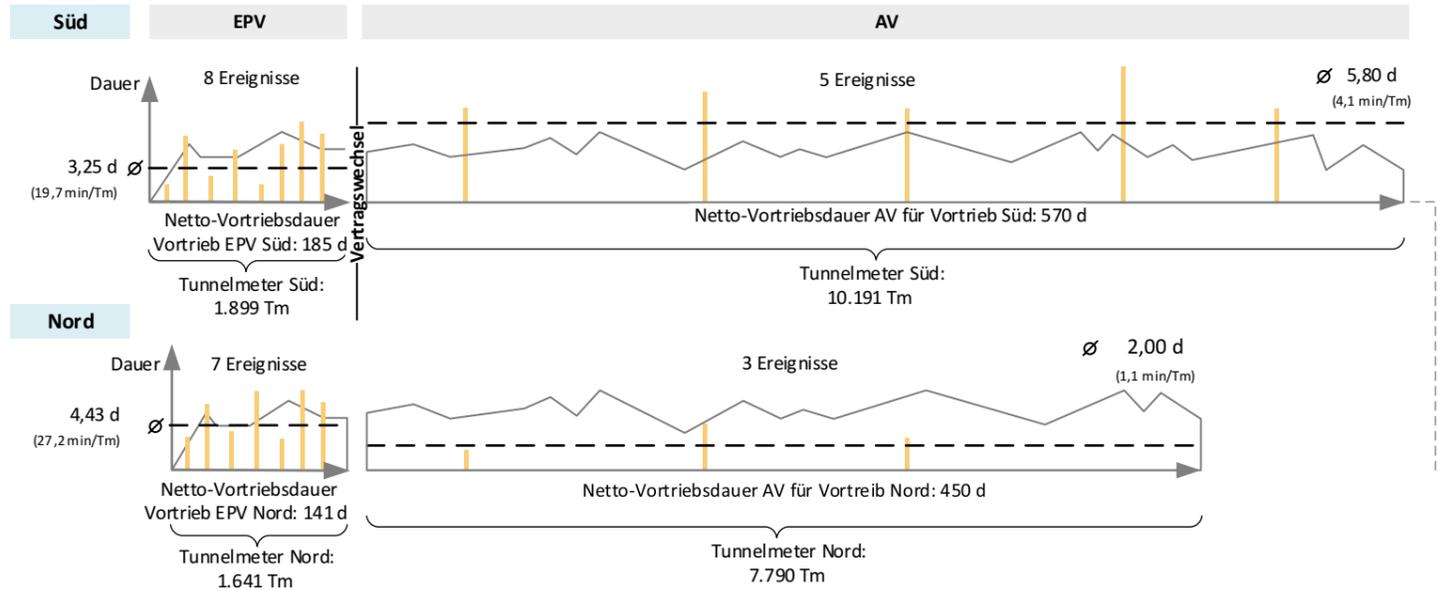
**a Ermittlung Verzögerungen durch Logistik je Vertragsmodell**

Dauer Verzögerungen aus Logistik **EPV** für Tunnel **Süd**:  
 26 d bei 8 Ereignissen = 3,25 d durchschnittlich je Ereignis

Dauer Verzögerungen aus Logistik **AV** für Tunnel **Süd**:  
 29 d bei 5 Ereignissen = 5,80 d durchschnittlich je Ereignis

Dauer Verzögerungen aus Logistik **EPV** für Tunnel **Nord**:  
 31 d bei 7 Ereignissen = 4,43 d durchschnittlich je Ereignis

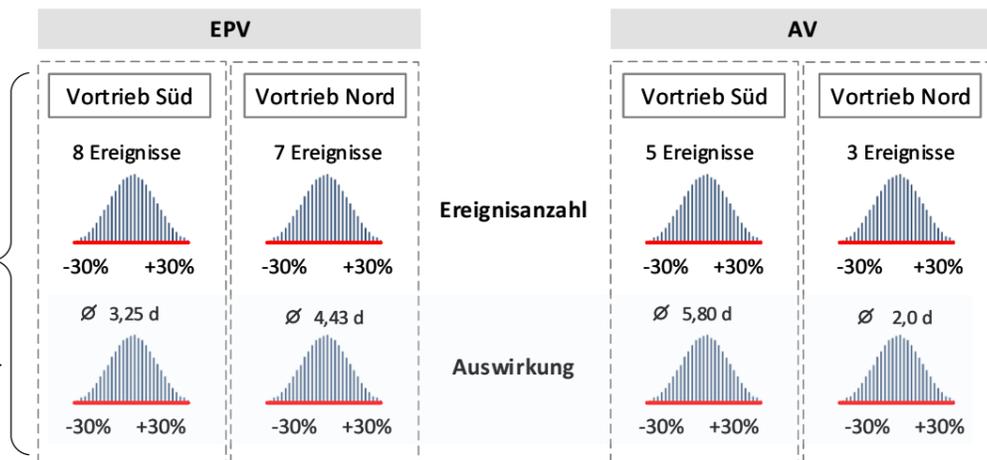
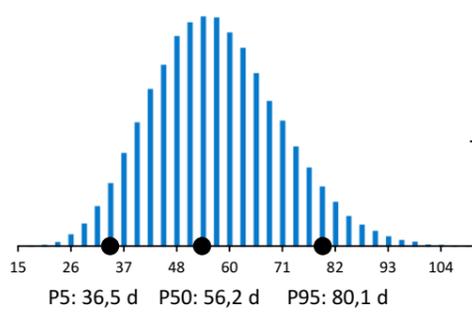
Dauer Verzögerungen aus Logistik **AV** für Tunnel **Nord**:  
 6 d bei 3 Ereignissen = 2,00 d durchschnittlich je Ereignis



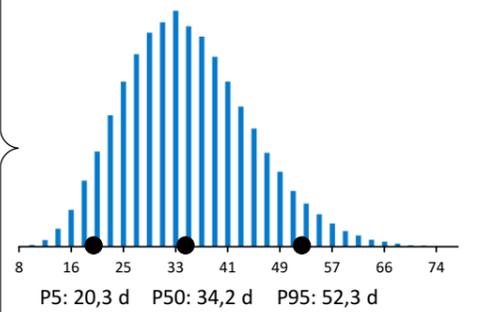
**b Stochastische Bewertung der Verzögerungen durch Logistik für die Prognoseabbildung**

IST-Ereignisse werden mit Verteilungen bewertet, um die Unsicherheiten aus der relativ geringen Stichprobengröße zu berücksichtigen. Um die Unterschiede zu berücksichtigen wurde die Ereignisanzahl sowie die Auswirkung mit Unsicherheiten variiert. Minimum und Maximum wurden bei P10 und P90 gewählt, um mögliche Extremereignisse in beide Richtungen berücksichtigen zu können.

Auswirkungen sind als durchschnittliche Verzögerungen pro Ereignis in Tagen definiert.



Die Anzahl der Ereignisse wurde mit der Projektleitung GKI abgestimmt.



Darstellung der weiteren Berechnung mit deterministischem Wert:

Summe det. Verzögerungen Logistik EPV:  
 57 d bei 3.540 Gesamt-Tunnelmeter  
**skalierte Verzögerung 23,2 min/Tm**

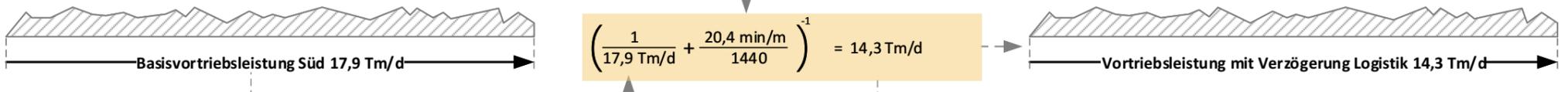
Summe det. Verzögerungen Logistik AV:  
 35 d bei 17.981 Gesamt-Tunnelmeter  
**skalierte Verzögerung 2,8 min/Tm**

Die Verzögerung aus Logistik führt zu einer Reduzierung der Basisvortriebsleistung. Diese ist nur für das Modell des EPV anzusetzen, da die Verzögerung Logistik um die Verzögerung Logistik AV abgemindert wird.

**Det. 20,4 min/Tm**

**c Reduzierung Basisvortriebsleistung Vortrieb Süd zur Berücksichtigung der Verzögerung Logistik, Nord analog**

Um die Basisvortriebsleistung um die Verzögerungen aus Logistik reduzieren zu können, wird der Kehrwert der Vortriebsleistung addiert. Der Kehrwert der Summe ergibt die um die Verzögerung aus Logistik reduzierte Vortriebsdauer.



**d Ermittlung Verzögerung Logistik im EPV (am Beispiel des EPV Süd, EPV Nord analog)**

Aus der um die Verzögerung Logistik reduzierten Vortriebsleistung und der Gesamtlänge des Tunnel Süd ergibt sich die Vortriebsdauer mit Verzögerungen. Die Differenz zu Basis Vortriebsdauer stellt die Verzögerung in d der Verzögerung Logistik EPV im Modell dar. (Tunnel Nord analog)



**e Korrektur Vortriebsdauer Logistik**





**C ANALYSE VERZÖGERUNGEN IST**

Basisvortriebsdauer

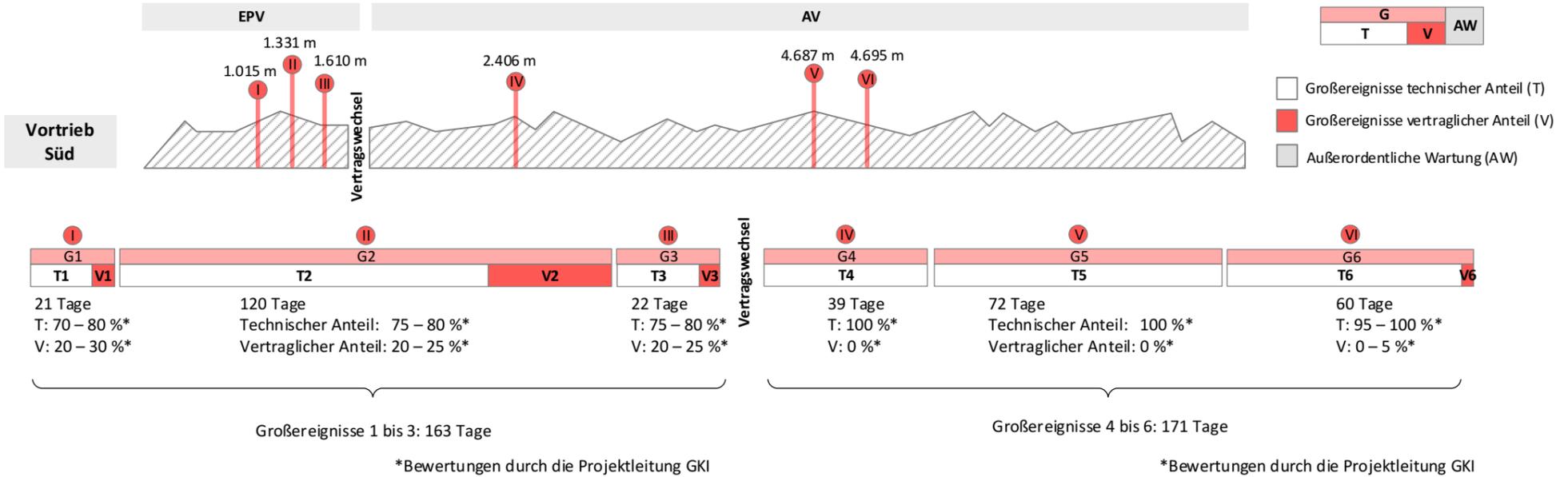
Verzögerung Logistik

**Verzögerung IST**

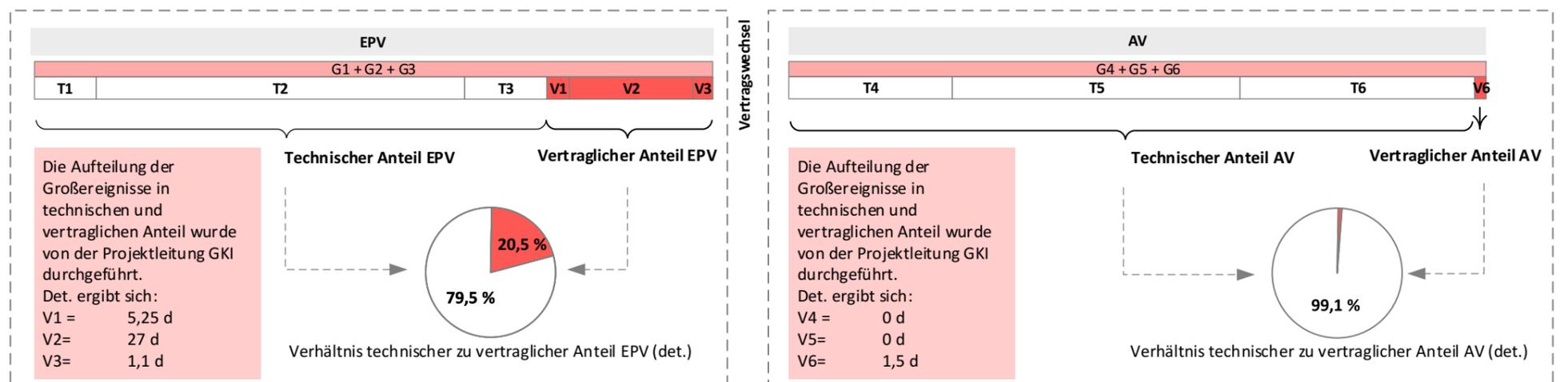
Verzögerung Prognose

Verzögerung IST setzen sich zusammen aus technischen Anteil Großereignis IST, vertraglicher Anteil Großereignis IST sowie außerordentliche Wartung IST bezogen auf die aufgefahrene Tunnelstrecke. In Großereignisse sind alle Stillstände mit > 10 Tage berücksichtigt.

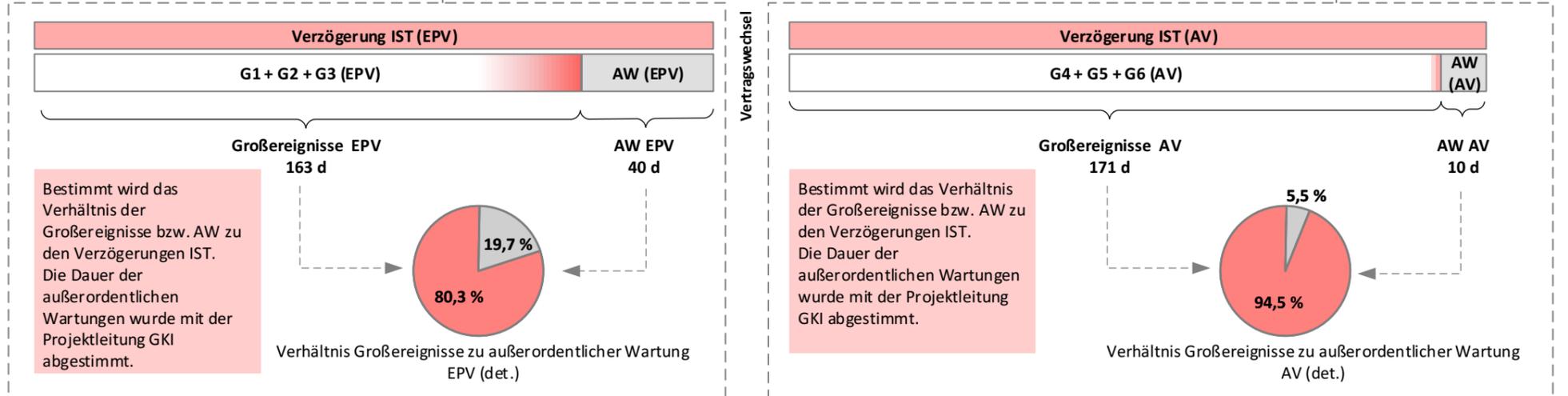
**a Stochastische Bewertung der vertraglichen und technischen Anteile in Prozent je Großereignis TVM Süd (Nord analog)**



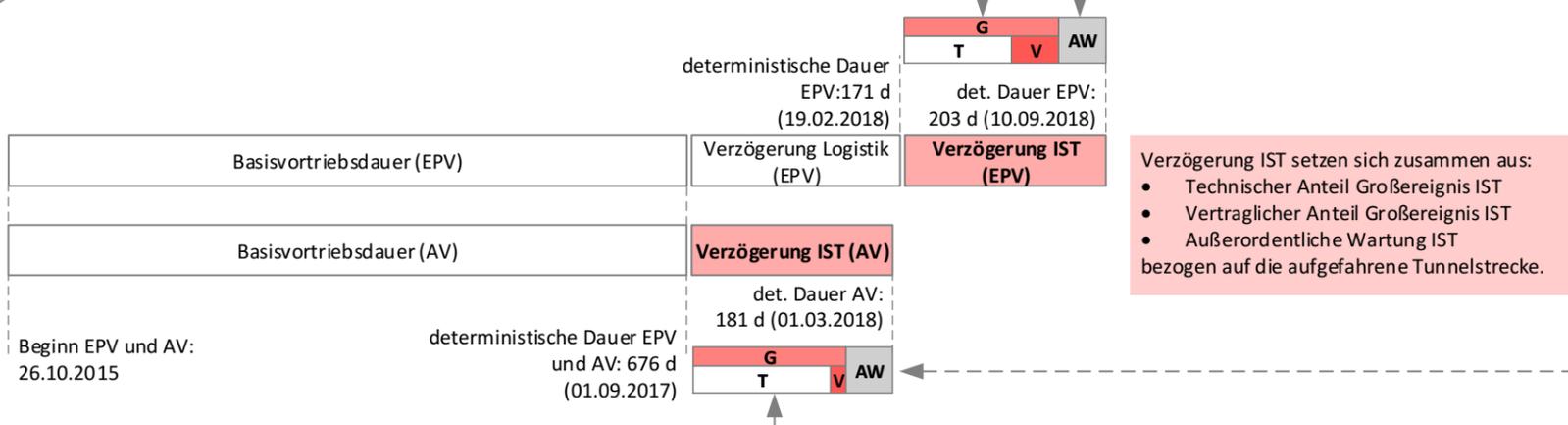
**b Ermittlung der Verhältnisse vertraglicher zu technischer Anteil aus Großereignisse IST**



**c Ermittlung der Verzögerungen IST aus außerordentlichen Wartungen (AW)**



**d Hinzufügen der Verzögerungen IST aus Großereignissen zur Vortriebsdauer**





**D ERMITTLUNG VERZÖGERUNGEN PROGNOSE**

Basisvortriebsdauer

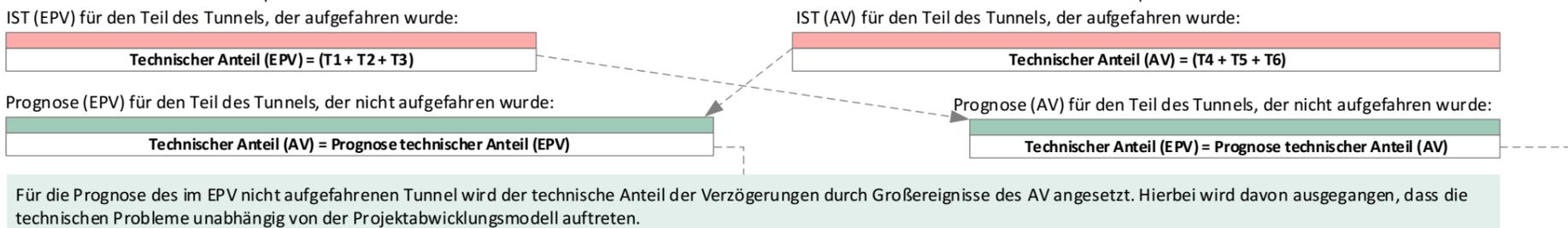
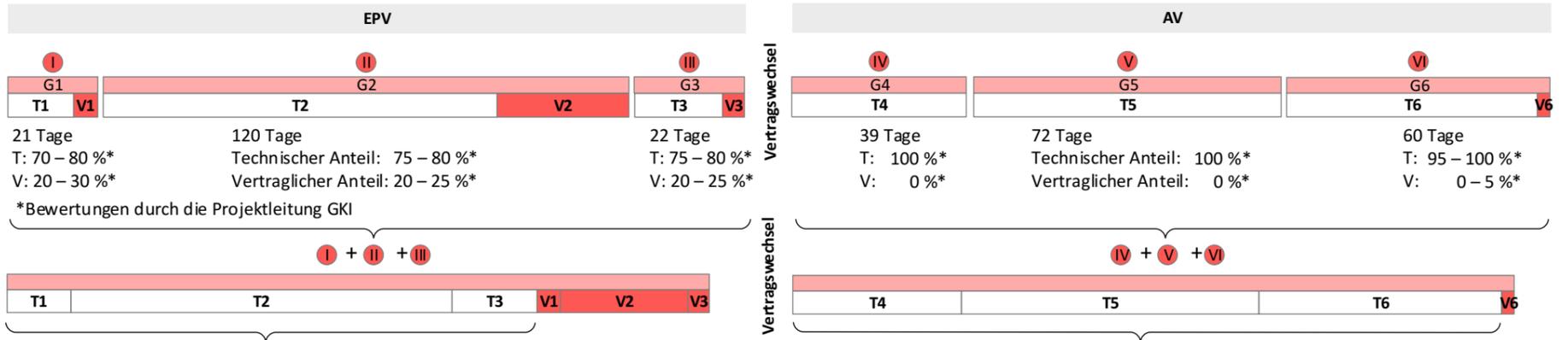
Verzögerung Logistik

Verzögerung IST

Verzögerung Prognose

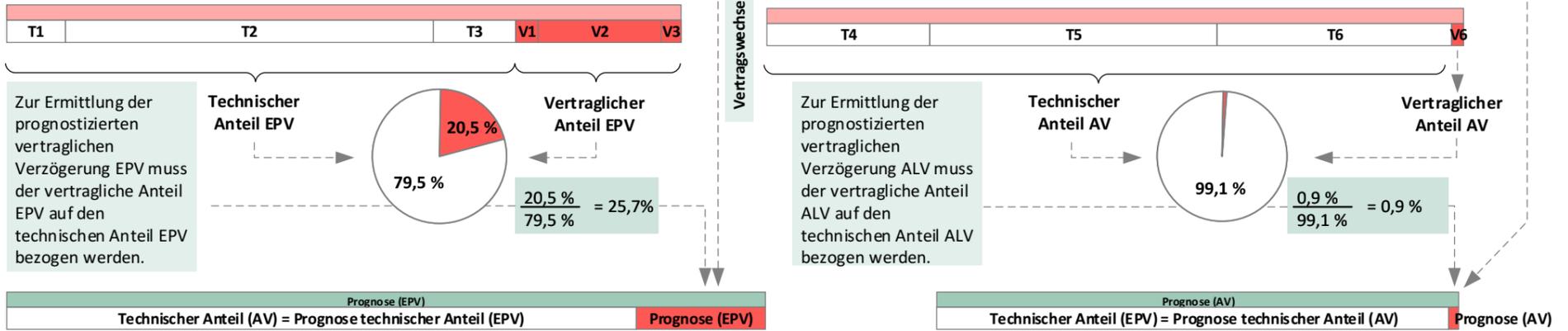
**a Probabilistische Ermittlung der Verzögerungen Prognose für technischen Anteil der Großereignisse Tunnel Süd, Tunnel Nord analog**

Übernahme aus Analyse Verzögerungen IST gem. C

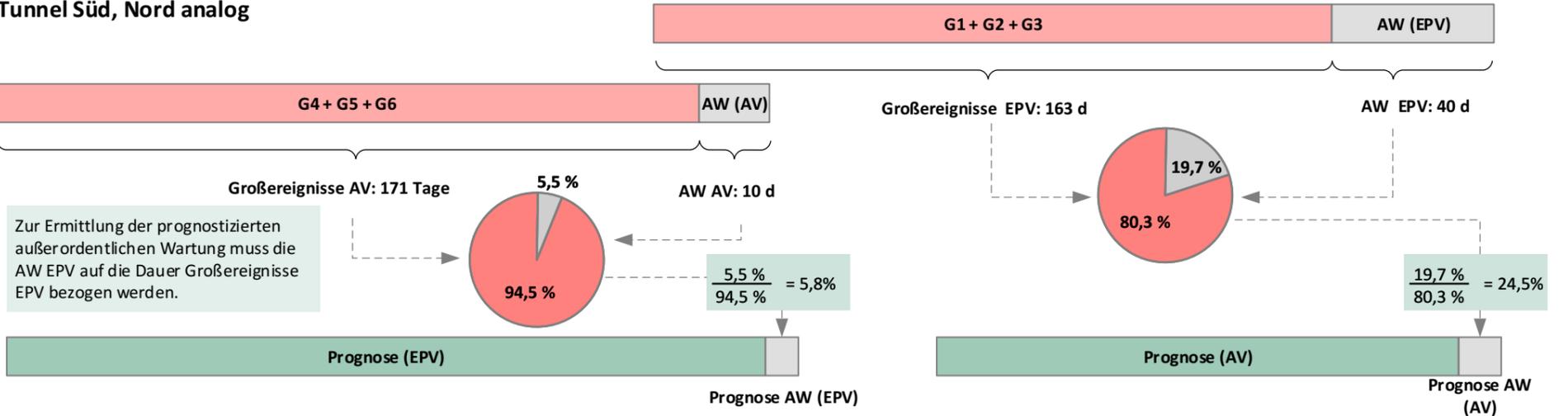


Für die Prognose des im EPV nicht aufgefahrenen Tunnel wird der technische Anteil der Verzögerungen durch Großereignisse des AV angesetzt. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die technischen Probleme unabhängig von der Projektabwicklungsmodell auftreten.

**b Probabilistische Ermittlung der Verzögerungen Prognose für vertraglichen Anteil des nicht aufgefahrenen Tunnelabschnitts Tunnel Süd, Nord analog**



**c Ermittlung der Dauer Prognose für die außerordentliche Wartung über Verhältnis Verzögerungen Großereignisse IST zu außerordentliche Wartung IST Tunnel Süd, Nord analog**



**d Hinzufügen des Prognoseanteils zur Vortriebsdauer für nicht aufgefahrene Tunnelstrecke**

