



Masterarbeit

# Materialbedarfsplanung im Tunnelbau

eingereicht an der

**Montanuniversität Leoben**

erstellt am

**Lehrstuhl für Industriellistik**

**Lehrstuhl für Subsurface Engineering**

**Vorgelegt von:**

Urban Michael  
0635229

**Betreuer/Gutachter:**

Dipl.-Ing. Georg Judmaier  
Univ.-Prof. Mag. Dr. Helmut E. Zsifkovits  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler

Leoben, 25.02.2013

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Michael URBAN

Leoben, 25.02.2013

## Kurzfassung

Die Bauindustrie befindet sich durch gestiegenen Kostendruck und Nachfrageeinbrüche in einer schwierigen Situation. Um kosteneffizienter zu arbeiten, beschäftigen sich viele Baufirmen mit der Analyse ihrer internen Prozesse und fokussieren sich stark auf Verbesserung bestehender Arbeits- und Planungsabläufe. Für die Umsetzung einzelner Methoden kommen in der stationären Industrie seit Jahren computerunterstützte Tools und zentrale Softwarelösungen zum Einsatz. Auch in Bauunternehmen halten ähnliche Integrationsplattformen und Planungssoftware vermehrt Einzug.

Einen wesentlichen Anteil zur baubetrieblichen Leistungserbringung liefert die zeit- und mengengerechte Versorgung einer Baustelle mit den benötigten Materialien. Gerade bei Untertagebaustellen unterliegt die Planung des Materialbedarfes besonderen Anforderungen und weist eine spezielle Charakteristik auf. In dieser Arbeit wird die Planung des Bedarfs an Stützmitteln und Baustoffen auf Tunnelbaustellen, welche im zyklischen Vortrieb mit der NATM (New Austrian Tunnelling Method) erstellt werden, untersucht und geprüft, ob sich Methoden zur Materialbedarfsplanung aus der stationären Industrie auf das gegebene Problem anpassen lassen.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines computerunterstützten Werkzeuges, welches auf Basis der vom Planer vorgegebenen Vortriebsklassen und den während der Bauphase vorliegenden geologischen Verhältnissen einen Forecast der Materialbedarfe an Stützmitteln und Baustoffen liefert. Wobei durch laufende Anpassung der Planung an die Gebirgsverhältnisse der Materialbedarf genauer bestimmt werden kann. Weiters ist eine Hochrechnung des Materialbedarfs über die gesamte Vortriebslänge integriert, wodurch eine Bestimmung des Gesamtmaterialbedarfs möglich ist.

Erreicht wird dies durch die Zusammenführung der Planungsdaten mit den aktuellen Vortriebsdaten und dem Leistungsverzeichnis in einer standardisierten Datenbank. In dieser Softwarelösung können Daten über einzelne Eingabeformulare schnell und einfach eingetragen und bearbeitet werden. Berechnungen werden automatisch ausgeführt und die benötigten Auswertungen angezeigt. Das erstellte Softwaretool ist ein Schritt in Richtung schnittstellenfreie Gesamtlösung zur Umsetzung von bauphysikalischen Methoden, von der Planung und Konzeption eines Projektes bis zur Planung des Materialbedarfes während der Bauphase.

## Abstract

Due to higher cost pressure and decreasing market demand construction Industry is in a difficult situation. To increase cost efficiency many construction companies evaluate their internal processes and concentrate on improvement of existing operating and planning processes. Computer-aided tools and centralised software solutions have been used for years to realize methods of stationary industry. Through evaluation in construction companies these integration platforms and planning software find one's way into construction and tunnelling companies. A major part of the constructional service provision is to supply a construction yard on time with the right quantity of the needed materials. Especially subsurface construction sites have specific requirements and characteristics for planning of material requirement.

This thesis examines the requirements planning of proppants and construction material on tunnel construction sites, which are built with NATM (New Austrian Tunnelling Method) and verify if methods of material requirement planning in stationary industry can be adapted to the given problem.

The goal of this thesis is the development of a computer-aided tool, which on the basis of the planer given driving classes and changes in the geology during the driving, calculate a forecast of the required materials. With continuous adaptation to the geology the demand can be calculated more exactly. In addition an extrapolation of the required materials over the entire tunnelling length is integrated, whereby the total material requirement can be calculated.

This can be achieved by joining planning data, current driving data and the data of the bill of quantities in a standardised database. In this software tool needed data can be entered and edited easily in individual forms. Calculations are done automatically and needed analysis can be displayed. As a result this software tool is a first stride towards an integrated solution with no interfaces to realize methods of construction logistics from the planning phase to the material requirements planning during construction.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....	<b>I</b>
<b>Kurzfassung</b> .....	<b>II</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>1 Problemstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Materialbedarfsplanung</b> .....	<b>2</b>
2.1 Ziele .....	3
2.2 Materialbedarf .....	3
2.2.1 Primär-, Sekundär-, Tertiärbedarf .....	4
2.2.2 Brutto- und Nettobedarf .....	4
2.2.3 Einfaches Beispiel Nettobedarfsrechnung .....	5
2.3 Vorgehensweise .....	5
<b>3 Verfahren der Materialbedarfsplanung</b> .....	<b>8</b>
3.1 Deterministische Verfahren .....	9
3.1.1 Analytische Methode .....	9
3.1.2 Synthetische Methode .....	11
3.1.3 Gozintographenmethode .....	13
3.1.4 Verwendung von Matrizen .....	16
3.2 Stochastische Verfahren .....	19
3.2.1 Verbrauchsverläufe .....	20
3.2.2 Arithmetischer Mittelwert .....	22
3.2.3 Gleitender Mittelwert .....	22
3.2.4 Gewichteter gleitender Mittelwert .....	23
3.2.5 Exponentielle Glättung 1. Ordnung .....	24
3.2.6 Exponentielle Glättung 2. Ordnung .....	26
3.2.7 Lineare Regressionsanalyse .....	27
3.2.8 Verfahren für Verlauf .....	30
3.3 Heuristische Verfahren .....	31
<b>4 Materialbedarfsplanung im Tunnelbau</b> .....	<b>32</b>
4.1 NATM .....	33
4.2 Voraussetzungen .....	34
4.2.1 Logistik .....	34
4.2.2 Informationsmanagement und zentrale Datenverwaltung .....	35
4.3 Geschäftsobjekte im Tunnelbau .....	36
4.3.1 Vortriebsklassen .....	36
4.3.2 Plandaten .....	37
4.3.3 Leistungsverzeichnis .....	38
4.3.4 Abschlag .....	38
4.3.5 Abschlagsdaten .....	38
4.3.6 Bauzeitplan .....	38
4.3.7 Vergleich mit Geschäftsobjekten der stationären Industrie .....	39
4.4 Anwendbarkeit einzelner Planungsverfahren .....	39
4.4.1 Anwendung heuristischer Verfahren .....	39
4.4.2 Anwendung stochastischer Verfahren .....	40
4.4.3 Anwendung deterministischer Verfahren .....	41

4.5	Umsetzung deterministisches Verfahren.....	42
4.5.1	Verknüpfung stationäre Industrie und Tunnelbau .....	42
4.5.2	Berechnungsbeispiele .....	43
4.6	Vorgehensweise bei der Planung .....	47
<b>5</b>	<b>Entwicklung eines computerunterstützten Planungstools.....</b>	<b>49</b>
5.1	Ausgangssituation.....	49
5.2	Datenbasis.....	51
5.3	Aufbau .....	52
5.3.1	Probleme, Anforderungen und Lösungen .....	52
5.3.2	Datenbankmodell.....	55
5.4	Eingaben .....	58
5.4.1	Startbildschirm .....	58
5.4.2	Projekt anlegen .....	58
5.4.3	Stützmittelverwaltung .....	59
5.4.4	Hauptbildschirm .....	60
5.4.5	Vortriebsklassen .....	60
5.4.6	Leistungsverzeichnis .....	61
5.4.7	Plandaten.....	61
5.4.8	Abschlagsdaten.....	62
5.5	Auswertungen und Berechnungen.....	63
5.5.1	Vergleich Leistungsverzeichnis mit Abschlagsdaten.....	63
5.5.2	Bedarfsvorschau.....	64
5.5.3	Bedarfsverlauf.....	65
5.6	Potential für Weiterentwicklung.....	66
5.7	Verwendbarkeit & Ergebnisse .....	67
5.7.1	Ermittlung und Vergleich der Prognosemengen .....	67
5.7.2	Gegenüberstellung mit eingesetzten Tools.....	70
5.7.3	Dateneingabe.....	71
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>72</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>74</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einfaches Berechnungsbeispiel der Bedarfsarten .....	5
Tabelle 2: Kombination der Ergebnisse von ABC und XYZ-Analyse .....	7
Tabelle 3: Beispiel konstanter Verlauf .....	22
Tabelle 4: Exponentielle Glättung 1. Ordnung .....	25
Tabelle 5: Wirkung unterschiedlicher Glättungsparameter .....	25
Tabelle 6: Beispiel Trendförmiger Verbrauch .....	27
Tabelle 7: Ergebnisse Exponentielle Glättung 2. Ordnung .....	27
Tabelle 8: Hilfstabelle für lineare Regression .....	29
Tabelle 9: Eignung der stochastischen Methoden bei verschiedenen Bedarfsverläufen .....	30
Tabelle 10: Verknüpfung Tunnelbau und stationäre Industrie .....	39
Tabelle 11: Gegenüberstellung Tunnelbau und stationäre Industrie.....	42
Tabelle 12: Angaben zum Beispiel Tunnelbau.....	44
Tabelle 13: Berechnung Gozintograph Tunnelbau .....	45
Tabelle 14: Direktbedarfsmatrix Tunnelbau.....	46
Tabelle 15: Eigenschaften Stützmittel .....	53
Tabelle 16: Unterschiedliche Einheiten .....	54
Tabelle 17: Umrechnung Baustahlgitter Ö-Norm B4200-7, Tafel 1, Gruppe M 550 .....	54
Tabelle 18: Eingabebeispiel mit zwei Endvortrieben .....	59
Tabelle 19: Eingabebeispiel mit zwei Endvortrieben und Zwischenangriffen.....	59
Tabelle 20: Gesetzmäßigkeiten Mengenermittlung .....	61
Tabelle 21: Auswahlmöglichkeiten Bedarfsvorschau .....	65
Tabelle 22: Vergleich Mengen.....	69

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Materialbedarfsarten .....	3
Abbildung 2: Beispielverlauf ABC-Analyse .....	6
Abbildung 3: Einteilung Verfahren Materialbedarfsplanung .....	8
Abbildung 4: Beispiele für Stücklisten .....	11
Abbildung 5: Beispiele Verwendungsnachweis .....	12
Abbildung 6: Überführung in Gozintograph .....	13
Abbildung 7: Beispiel mit Primärbedarfen .....	14
Abbildung 8: Gesamtbedarfsberechnung zum Gozintograph aus Abbildung 7 .....	15
Abbildung 9: Direktbedarfsmatrix .....	16
Abbildung 10: Verbrauchsverläufe .....	21
Abbildung 11: Einteilung Tunnelvortriebsarten .....	33
Abbildung 12: Zyklischer Vortrieb .....	34
Abbildung 13: Informationsgewinn durch Informationsmanagement .....	35
Abbildung 14: Beispiel Vortriebsklasse .....	37
Abbildung 15: Grundform Gozintograph für Tunnelbau .....	43
Abbildung 16: Beispiel Gozintograph Tunnelbau .....	44
Abbildung 17: Tunnelportal Götschka Süd .....	49
Abbildung 18: Streckenkarte .....	51
Abbildung 19: Schematische Darstellung der Datenbank .....	55
Abbildung 20: Hierarchischer Aufbau Planungstool .....	56
Abbildung 21: Datenbankmodell .....	57
Abbildung 22: Eingabemaske Projekt anlegen .....	59
Abbildung 23: Stützmittelverwaltung .....	60
Abbildung 24: Eingabemaske Vortriebsklasse .....	61
Abbildung 25: Plandaten Eingabe .....	62
Abbildung 26: Eingabebeispiel Abschlagsdaten .....	63
Abbildung 27: Vergleich Leistungsverzeichnis mit Abschlagsdaten .....	64
Abbildung 28: Bedarfsverlauf .....	65
Abbildung 29: Vergleich kumulierter Materialverbrauch .....	69
Abbildung 30: Verbrauchsverlauf Stützmittel .....	70



# 1 Problemstellung

Gestiegener Kostendruck, Nachfrageeinbrüche und Überkapazitäten zwingen die Bauindustrie in dieser wirtschaftlich allgemein schwierigen Situation dazu ihre internen Prozesse und Abläufe zu analysieren und gegebenenfalls Verbesserungen durchzuführen. Dabei wird in vielen Fällen die stationäre Industrie als Referenz herangezogen, in der bereits seit längern, durch kontinuierliche Verbesserung der eigenen Prozesse und Einsatz modernster Technologien, Einsparungen und Qualitätsverbesserungen erreicht werden. Da die Bauindustrie und im speziellen der Tunnelbau eine sehr materialintensive Branche ist, können durch eine korrekte Planung des Materialbedarfs große Einsparungen erzielt werden.

In der stationären Industrie kommen für die Materialbedarfsplanung verschiedene computerunterstützte Berechnungsverfahren zum Einsatz. Währenddessen wird im Tunnelbau, aufgrund der Charakteristik dieser Branche mit großer Unvorhersehbarkeit der geologischen Verhältnisse, stark auf die Einschätzung einzelner Personen gesetzt.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines computerunterstützten Werkzeuges, welches auf Basis der vom Planer vorgegebenen Vortriebsklassen und den während der Bauphase vorliegenden geologischen Verhältnissen einen Forecast der Materialbedarfe an Stützmitteln und Baustoffen liefert. Wobei durch laufende Anpassung der Planung an die Gebirgsverhältnisse der Materialbedarf genauer bestimmt werden kann.

Erreicht werden soll dies durch die Analyse der in der stationären Industrie eingesetzten systematischen Verfahren zur Materialbedarfsplanung und deren Überprüfung auf die Anwendbarkeit im Tunnelbau. Geeignete Verfahren werden übertragen und gegebenenfalls an die Besonderheiten angepasst. In dieser Arbeit ist unter Tunnelbau die Einschränkung auf Tunnel, welche mit der NATM (New Austrian Tunneling Method) erstellt werden zu verstehen. Die Anwendungen des Verfahrens auf andere Vortriebsarten, wie zum Beispiel mittels einer TBM (Tunnelbohrmaschine), werden nicht betrachtet.

Die gewonnen Erkenntnisse aus der Analyse und das neue Verfahren sollen in ein computerunterstütztes Softwaretool einfließen, welches einen Schritt in Richtung schnittstellenfreie Gesamtlösung zur Umsetzung von bauleistungslogischen Methoden, darstellt.

## 2 Materialbedarfsplanung

Die Materialbedarfsplanung ist ein wichtigster Bereich in den Unternehmen. Bedingt durch die schlechte Wirtschaftslage der letzten Jahre, gewinnt die genaue Planung des Produktionsprogramms als auch der benötigten Materialien immer mehr an Bedeutung.

Heutzutage ist die Materialbedarfsplanung ein zentraler Bestandteil von in Unternehmen eingesetzten, rechnergestützten Produktionsplanungs- und Steuerungssystemen (PPS-System). Historisch gesehen liegen die Anfänge der Materialbedarfsplanung, wie wir sie heute kennen, in den frühen Jahren sechziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts<sup>1</sup>. Joseph Orlicky beschrieb das noch heute Verwendung findende Material Requirement Planning (MRP)-Konzept, auch bekannt unter MRP I, welches sich ursprünglich auf die Auflösung komplexer Stücklistenstrukturen konzentrierte. Mit dem Manufacturing Resource Planning-Konzept (MRP II-Konzept), entwickelt von Oliver Wight im Jahr 1984, wurde das bestehende MRP I-Konzept ergänzt und erweitert. Dieses bildet bis heute die Basis der heute eingesetzten PPS-Systeme.

Die Materialbedarfsplanung zählt zu den mittel- bis kurzfristigen Planungsverfahren und ist ein Teilbereich der Produktionsplanung. Wie bereits aus dem Namen ersichtlich, beschäftigt sich die Materialbedarfsplanung mit der Planung des Materialbedarfes. Zu den Aufgaben zählt die Angabe der für die Planungsperiode benötigten Materialien in der entsprechenden Menge und Qualität. Außerdem wird die Materialbereitstellungsplanung zur Ermittlung eines entsprechenden Bestelltermins nach bestimmten Bereitstellungsprinzipien zu den Aufgaben der Materialbedarfsplanung gerechnet. Außerdem zählt die Auswahl und Umsetzung eines entsprechenden Verfahrens für die jeweiligen Materialien zur Aufgabe der Materialbedarfsplanung.

Oftmals werden auch die Begriffe Bedarfsarten, Bedarfsmengenplanung, Bedarfsermittlung oder Materialdisposition im Zusammenhang mit der Materialbedarfsplanung genannt.

---

<sup>1</sup> Vgl Mabert (2007), S.346ff

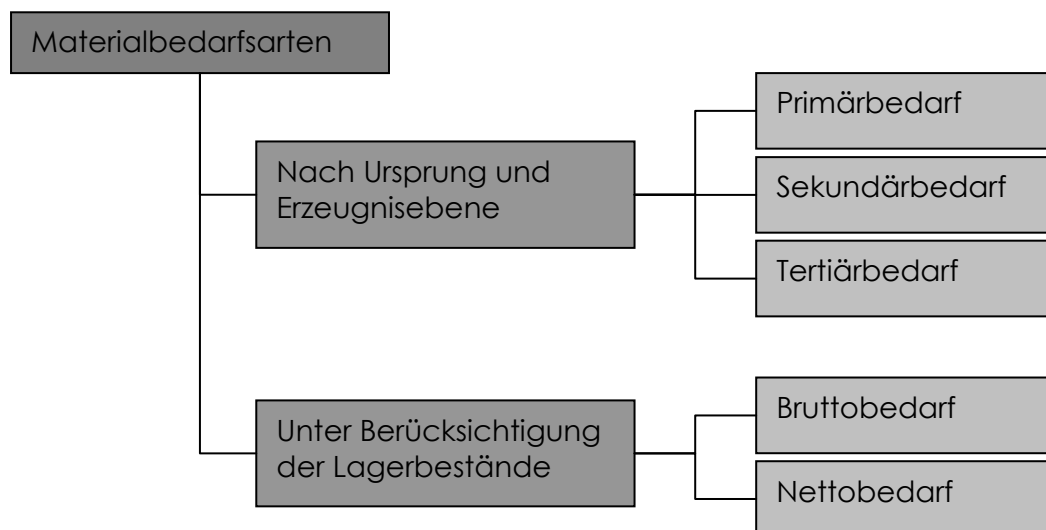
## 2.1 Ziele

Das primäre Ziel der Materialbedarfsplanung ist die bedarfs- und zeitgerechte Materialversorgung bei minimalen Kosten. Wobei durch eine genaue Planung der Bestand an Materialien und Rohstoffen soweit reduziert werden kann, dass nur die kurzfristig benötigt Menge vorrätig sein muss. Dabei ist insbesondere auf marktspezifische Besonderheiten zu achten, um die fristgerechte Bereitstellung zu gewährleisten. Wichtig ist bei der Minimierung der Kosten die Einbeziehung aller entstehenden Kosten, sowohl für die Durchführung als auch für die Umsetzung der Planung.

## 2.2 Materialbedarf

Der Bedarf ist die Menge an Produkten, Halbfertigprodukten, Einzelteilen oder Roh- und Hilfsstoffen, die innerhalb einer Periode benötigt werden.<sup>2</sup> Die Ermittlung des Bedarfs geht jeder Materialbedarfsplanung voraus, wobei je nach Bedarfsart unterschiedliche Methoden eingesetzt werden. Der Materialbedarf lässt sich wie folgt in zwei große Gruppen unterteilen.<sup>3</sup>

Wird der Bedarf anhand von Erzeugnisstrukturen aufgeteilt, werden die drei Bereiche Primär-, Sekundär- und Tertiärbedarf unterschieden. Werden zur Bedarfsbestimmung die aktuellen Lagerbestände berücksichtigt, sind die Bedarfe in die zwei Bereiche Brutto- und Nettobedarf zu unterteilen.



**Abbildung 1: Materialbedarfsarten<sup>4</sup>**

<sup>2</sup> Vgl. Schönsleben (2004), S.10

<sup>3</sup> Vgl. Schulte (2001), S.113

<sup>4</sup> Vgl. Wannewetsch (2007), S.27

## 2.2.1 Primär-, Sekundär-, Tertiärbedarf

Die Bedarfe nach der Erzeugnisstruktur werden wie folgt gegliedert:<sup>5</sup>

Als **Primärbedarf** werden die für den Absatz vorgesehenen Erzeugnisse oder für den Verkauf bestimmte Ersatzteile bezeichnet. Er ergibt sich durch Kundenaufträge, Absatzpläne oder Produktionsprogramm. Als Beispiel für Primärbedarf können eigentlich alle kaufbaren Produkte und Ersatzteile wie Laptop, Auto, Lebensmittel oder Kleidung bezeichnet werden.

Zum **Sekundärbedarf** zählen alle Baugruppen, Einzelteile oder Rohstoffe, die für die Deckung des Primärbedarfes benötigt werden. Beispielfhaft können hier Jogurtbecher, Baumwollstoff, Autotüren oder Kupfer angeführt werden.

Der **Tertiärbedarf** ist der erforderliche Bedarf an Hilfs- und Betriebsstoffen oder Verschleißwerkzeugen, welche zur Herstellung des Endproduktes benötigt werden. Auch hier zur Verdeutlichung ein paar Beispiele: Öle, Schmierstoffe sowie jede Form von Energie zählen zum Tertiärbedarf.

## 2.2.2 Brutto- und Nettobedarf

Die Bedarfe unter Berücksichtigung der Lagerbestände werden wie folgt unterteilt.<sup>6</sup>

Der **Bruttobedarf** ergibt sich aus der Addition von Sekundärbedarf mit dem Zusatzbedarf. In der Literatur wird der Bruttobedarf auch als Gesamtbedarf in der entsprechenden Periode bezeichnet.

$$\begin{array}{r} \text{Sekundärbedarf} \\ + \text{Zusatzbedarf} \\ \hline = \text{Bruttobedarf} \end{array}$$

Unter Zusatzbedarf versteht man ungeplante Bedarfe wie Ausschuss, Schwund, Versuche, Materialfehler.<sup>7</sup> Der Zusatzbedarf wird meist als prozentueller Zuschlagsatz auf den Sekundärbedarf aufgeschlagen. Die Ermittlung des richtigen Prozentsatzes kann über statistische Auswertungen der oben aufgelisteten Kategorien erfolgen.

Bis zur Ermittlung des Bruttobedarfes kommt es noch zu keiner Einbeziehung von Erzeugnissen oder Einzelteilen, welche bereits im Lager vorhanden sind und somit nicht mehr produziert bzw. beschafft werden müssen. Durch diese Berücksichtigung erhält

<sup>5</sup> Vgl. Schulte (2001), S.114

<sup>6</sup> Vgl. Schulte (2001), S.114

<sup>7</sup> Vgl. Wannewetsch (2007), S.28

man den **Nettobedarf**. Die Ermittlung des Nettobedarfs erfolgt durch die Subtraktion der Lagerbestände vom Bruttobedarf.

$$\begin{array}{r} \text{Bruttobedarf} \\ - \text{Lagerbestände} \\ \hline = \text{Nettobedarf} \end{array}$$

Somit kann ermittelt werden, ob der aktuelle Bedarf durch die Bestände gedeckt werden kann.

### 2.2.3 Einfaches Beispiel Nettobedarfsrechnung

Zur besseren Verdeutlichung, wie die einzelnen Bedarfe berechnet werden, wird ein kurzes Beispiel aufgeführt, indem die Bedarfsrechnung über mehrere Perioden erfolgt.

Für Produkt P<sub>1</sub> werden jeweils vier Teile der Baugruppe B<sub>1</sub> verbaut. Von P<sub>1</sub> werden insgesamt 500 Stück über 4 Perioden benötigt. Da sich ein Endprodukt aus vier Baugruppen zusammensetzt, errechnet sich der Sekundärbedarf aus 4 \* Primärbedarf. Dies ergibt in der 1. Periode einen Sekundärbedarf von 460 Stück. Durch Auswertungen wurde ein Zusatzbedarf in der Höhe von 5 % des Sekundärbedarfs ermittelt. Ist ein Lagerbestand vorhanden, so wird dieser vom ermittelten Bruttobedarf abgezogen.

Bedarfsart	Periode			
	1	2	3	4
Primärbedarf P <sub>1</sub>	115	93	150	142
Sekundärbedarf B <sub>1</sub>	460	372	600	568
Zusatzbedarf B <sub>1</sub>	23	19	30	29
Bruttobedarf B <sub>1</sub>	483	391	630	597
Lagerbestände B <sub>1</sub>	400	0	0	0
Nettobedarf B <sub>1</sub>	83	391	630	597

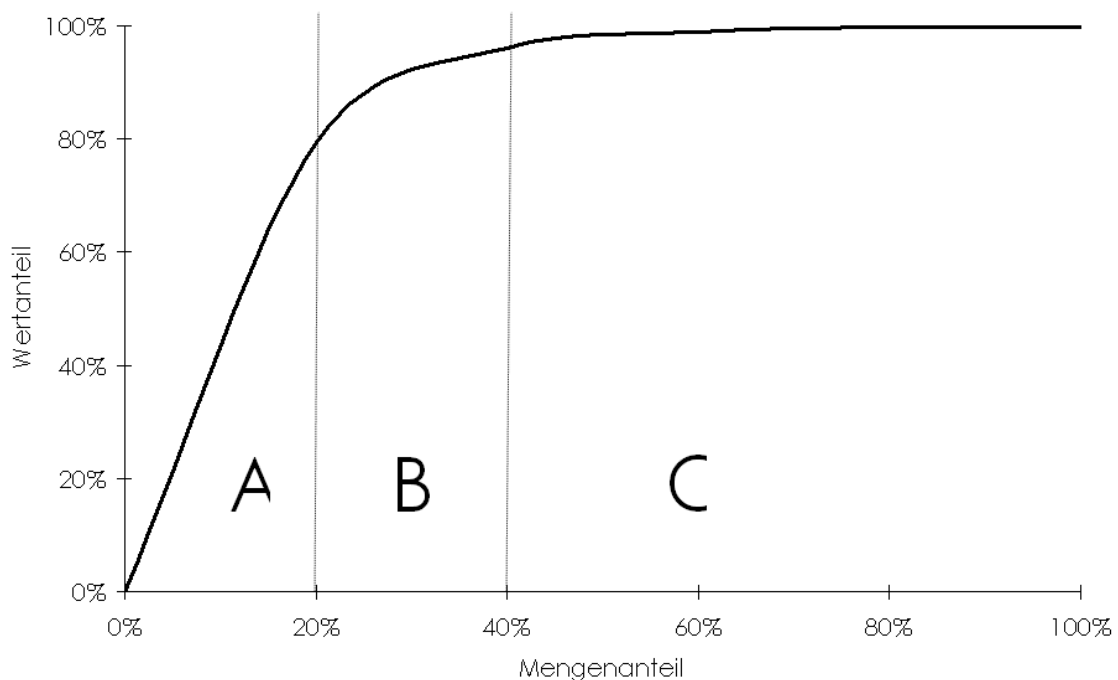
**Tabelle 1: Einfaches Berechnungsbeispiel der Bedarfsarten**

## 2.3 Vorgehensweise

Um eine Materialbedarfsplanung durchzuführen müssen einige Schritte vorab durchgeführt werden. In den meisten Unternehmen wird eine Vielzahl an unterschiedlichen Materialien verwendet. Dabei verursachen hochwertigere Materialien mehr Kosten durch Lagerhaltung und Kapitalbindung. Im Gegenzug sind bei geringwertigen Materialien die Kosten für die Planung im Vergleich zu deren Anschaffungswert sehr hoch.

Parallel zu den unterschiedlichen verwendeten Materialien haben sich im Laufe der Zeit verschiedenste Verfahren zur Materialbedarfsplanung entwickelt, die sich durch unterschiedlichen Aufwand und Genauigkeit der Planung unterscheiden. Somit sollten die genauesten und aufwändigsten Verfahren für die höherwertigen Materialien verwendet werden.

Ein weit verbreiteter Ansatz, um eine Klassifizierung von Materialien nach bestimmten Kriterien zu erstellen, ist eine ABC-Analyse. Hierbei wird die Anzahl der Materialien in Bezug zum jeweiligen Materialwert gesetzt und nach dem Paretoprinzip in drei Klassen (A, B und C) unterteilt. Nach diesem Prinzip bedeutet es, dass eine Verteilung möglich ist, bei der ca. 20 % der Materialien ca. 80 % des Wertes ausmachen. Dies wäre die Kategorie A-Materialien, welche am wertvollsten sind. In der Kategorie B sind ca. 20 % der Materialien für ca. 15 % des Wertes und in der Kategorie C ca. 50 % der Materialien für ca. 5 % des Wertes verantwortlich.



**Abbildung 2: Beispielverlauf ABC-Analyse<sup>8</sup>**

Um die Klassifizierung zu verfeinern, kann die ABC-Analyse durch eine XYZ-Analyse (auch RUS-Analyse) ergänzt werden. Hierbei werden die Materialien aufgrund der Häufigkeit ihrer Verwendung eingeteilt, wobei die Kategorien absteigend angeordnet sind.

<sup>8</sup> Vgl. Schawel, Billing (2012), S.15

- X = Regelmäßig
- Y= Unregelmäßig
- Z = Selten

Kombiniert man nun beide Analysen, erhält man eine Matrix mit neun Feldern, die jeweils für eine bestimmte Gruppe an Materialien steht. Nun können bestehende Verfahren zur Materialbedarfsplanung den einzelnen Gruppen zugeordnet werden um die richtigen Planungsverfahren auszuwählen.

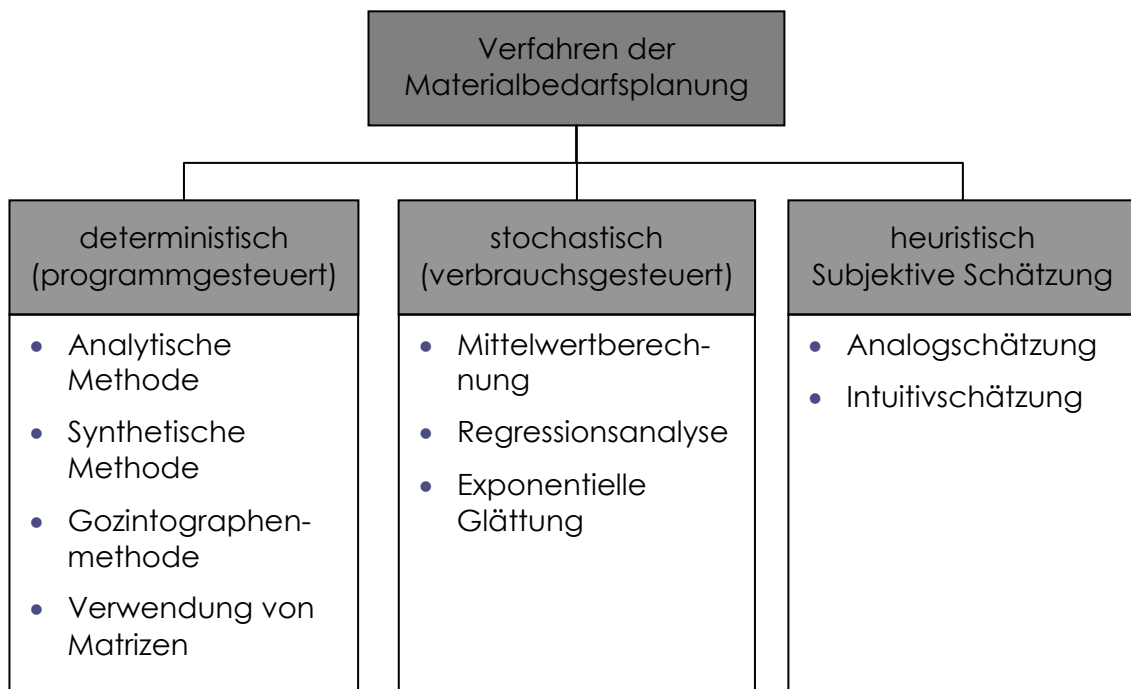
		Bedarfsermittlung	XYZ-Analyse		
			X	Y	Z
ABC-Analyse	A	Deterministisch	produktionssynchron	produktionssynchron	fallweise
	B	Deterministisch oder Stochastisch	produktionssynchron oder Bevorratung	produktionssynchron oder Bevorratung	fallweise oder Bevorratung
	C	Stochastisch oder Heuristisch	Bevorratung	Bevorratung	fallweise oder Bevorratung

Tabelle 2: Kombination der Ergebnisse von ABC und XYZ-Analyse<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Vgl. Schneider, Buzacott, Rücker (2005), S.36

### 3 Verfahren der Materialbedarfsplanung

Wie bereits erwähnt, gibt es in der stationären Industrie eine Vielzahl an unterschiedlichen Verfahren, welche sich im Laufe der Zeit entwickelt haben und eingesetzt werden. Die unterschiedlichen Verfahren lassen sich aufgrund ihrer Berechnungsart in drei große Gruppen einteilen, denen sich die Verfahren entsprechend zuordnen lassen.



**Abbildung 3: Einteilung Verfahren Materialbedarfsplanung<sup>10</sup>**

Wie bereits im Kapitel zuvor beschrieben, gibt es in den seltensten Fällen ein genau passendes Verfahren, welches als Universallösung zur Anwendung kommt. Es ist daher sehr wichtig, vor Auswahl eines Verfahrens eine Klassifizierung zu erstellen und je nach Bedarfsart und Häufigkeit der Verwendung eines Materials ein passendes Verfahren auszuwählen. Oftmals kommen auch mehrere der im Folgenden beschriebenen Verfahren parallel oder kombiniert zum Einsatz.

<sup>10</sup> Vgl. Kopsidis (1997), S.46



## 3.1 Deterministische Verfahren

Deterministische Verfahren werden auch unter den Begriffen programmgebunden / -gesteuert geführt.<sup>11</sup> In jedem Fall liegt den beschriebenen Verfahren ein vorgegebenes Produktionsprogramm zu Grunde, welches auf Basis von Kunden- oder Lageraufträgen erstellt wird. Aus diesem ermittelten Primärbedarf werden die benötigten Komponenten und Baugruppen (Sekundärbedarfe) mit Hilfe einer hinterlegten Erzeugnisstruktur genau und exakt ermittelt.

Jedoch ist der Planungsaufwand für diese Verfahren, gerade wegen der Exaktheit, sehr hoch. Um diesen zu rechtfertigen, kommen deterministische Verfahren bei hochwertigen bzw. kundenspezifischen Produkten zum Einsatz.

Wenn die Gegebenheiten zutreffen und es wirtschaftlich ist, sind deterministische Verfahren in jeden Fall anderen Verfahren zu bevorzugen. Durch die exakte Berechnung des benötigten Materialbedarfes kann der Lagerbestand niedrig gehalten werden. Jedoch muss, bedingt durch die genauen Mengen, darauf geachtet werden, dass die zeitgerechte Versorgung mit Materialien sichergestellt ist.<sup>12</sup>

In der betrieblichen Praxis reduziert sich der Aufwand weitgehend, da die gängigen Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme diese Verfahren integriert haben und automatisch ausführen. Es ist allerdings sehr wichtig, die hinterlegte Erzeugnisstruktur immer auf aktuellstem Stand zu halten.

### 3.1.1 Analytische Methode

Die Analytische Methode bezeichnet das Verfahren, welches zur Bestimmung der Bedarfe Stücklisten verwendet.<sup>13</sup> Eine Stückliste listet in tabellarischer Form die für die Erzeugung eines Produktes benötigten Einzelteile und Baugruppen in der entsprechenden Menge auf. Da hierbei ein Erzeugnis ausgehend von der obersten Ebene in seine Bestandteile aufgelistet wird, spricht man von einer Analytischen Methode.

#### Bezeichnung und Inhalt von Stücklisten

Stücklisten finden in irgendeiner Form in allen Branchen Anwendung, wobei sie oft unter anderen Namen bekannt sind. Während in den maschinenbaulichen Branchen durchwegs die Stückliste als solche bekannt ist, werden zum Beispiel in der Chemi-

---

<sup>11</sup> Vgl. Wannenwetsch (2007), S.36

<sup>12</sup> Vgl. Schulte (2001), S.129

<sup>13</sup> Vgl. Wannenwetsch (2007), S.43

schen oder Lebensmittelindustrie diese als Rezeptur oder Zutatenliste bezeichnet, und in der Bauindustrie ist der Begriff Materialliste gängiger.

Gemeinsam sind aber allen Stücklisten die enthaltenen Daten, welche je nach Anwendung entsprechend gefiltert und ausgegeben werden können. Zur Berechnung des Materialbedarfes sind Daten wie die Materialnummer, Bezeichnung, benötigte Menge und deren Einheit wichtig. Weitere mögliche Felder sind zum Beispiel der Lagerort des Materials oder der entsprechende Lieferant.

### **Arten von Stücklisten**<sup>14</sup>

Die Stücklisten werden in weitere Unterformen gegliedert, wobei die drei gängigsten Formen kurz erläutert werden. Zur Verdeutlichung zeigt Abbildung 4 Beispiele für die angeführten Stücklisten.

Bei der **Mengenübersichtsstückliste** werden alle benötigten Materialien ohne Berücksichtigung struktureller Informationen aufgelistet. Die Vorteile bestehen darin, dass der gesamte Materialbedarf jedes Einzelteils ersichtlich ist und mehrfach verwendete Komponenten in einer Position zusammengefasst werden. Ein wesentlicher Nachteil ist, dass keine strukturellen Informationen enthalten sind und diese für eine mehrstufige Fertigung nicht verwendbar ist.

In einer **Strukturstückliste** sind strukturelle Informationen genauso wie Mengen abgebildet. Anders als bei Mengenübersichtsstücklisten werden hier nicht die gesamten Mengen angegeben, sondern nur so viel, wie für die entsprechende übergeordnete Baugruppe benötigt wird. Werden Einzelteile für mehrere Baugruppen benötigt, scheinen diese auch öfter auf. Ein Vorteil dieser Schreibweise ist auf jeden Fall der Erhalt struktureller Informationen. Jedoch kann eine komplexe Fertigung eines Erzeugnisses schnell unübersichtlich werden.

**Baukastenstücklisten** enthalten nur die Baugruppen und Einzelteile, welche für die Erzeugung des jeweiligen Produktes oder der Baugruppe benötigt werden. Somit wird für die Darstellung jeder Baugruppe jeweils eine eigene Stückliste benötigt. Durch diese Art müssen gleiche Baugruppen nur einmal gespeichert werden und verwaltet. Um den Gesamtbedarf zu ermitteln, muss in mehreren Stücklisten nachgeschlagen werden.

---

<sup>14</sup> Vgl. Schneeweiß (2002), S.205f

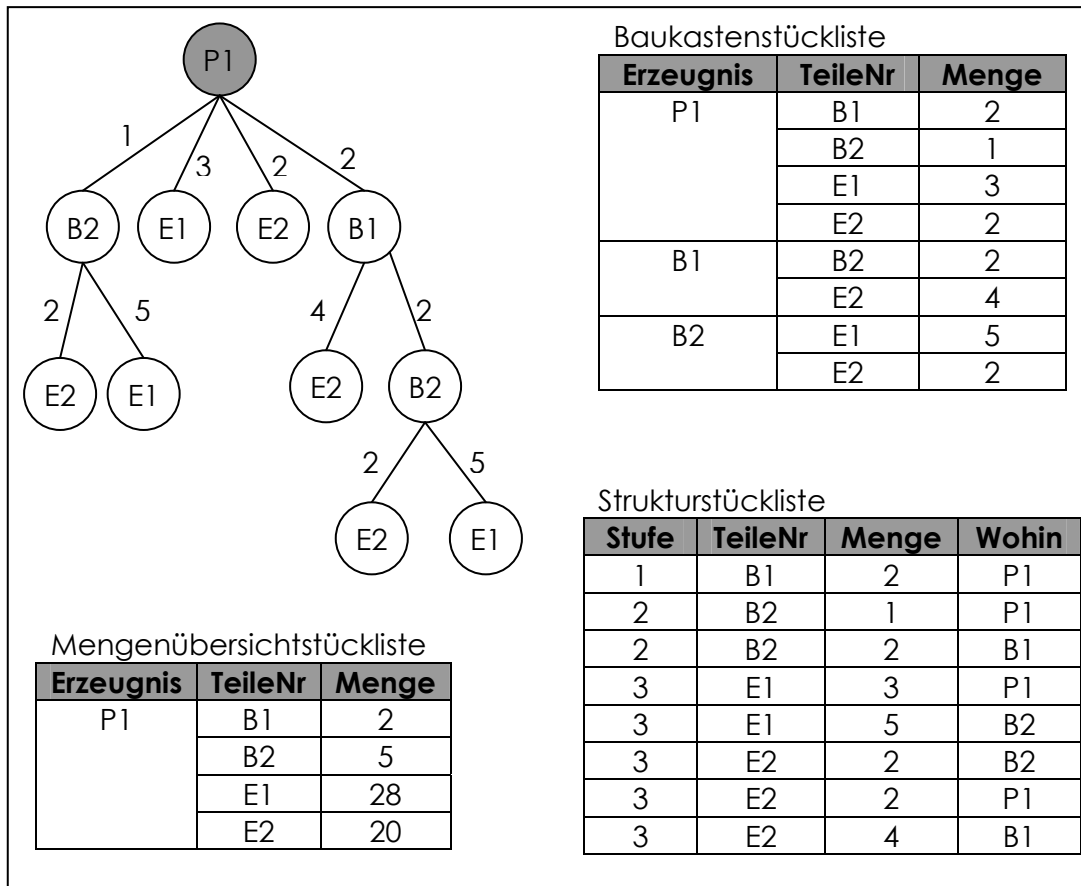


Abbildung 4: Beispiele für Stücklisten<sup>15</sup>

### 3.1.2 Synthetische Methode

Die Synthetische Methode verwendet zur Bedarfsbestimmung Teilverwendungsnachweise. Ein Teilverwendungsnachweis zeigt, in welche Endprodukte und Baugruppen ein Einzelteil einfließt. Aufgrund der Tatsache, dass hier von den Einzelteilen auf ein Enderzeugnis geschlossen wird, nennt man dies eine Synthetische Methode. Teilverwendungsnachweise sind eigentlich umgekehrte Stücklisten und finden zum Beispiel Anwendung beim Herausfinden, welche Endprodukte von einer Änderung des entsprechenden Einzelteils betroffen wären.

#### Arten von Teilverwendungsnachweis<sup>16</sup>

Teilverwendungsnachweise werden wie Stücklisten in weitere Unterformen gegliedert, wobei die drei gängigsten Formen kurz erläutert werden. Zur Verdeutlichung zeigt Abbildung 5 ein Beispiel, wie die einzelnen Verwendungsnachweise für ein Einzelteil aussehen.

<sup>15</sup> Vgl. Günther, Tempelmeier (2012), S.190ff

<sup>16</sup> Vgl. Wannenwetsch (2007), S.43

Ein **Mengenübersichtsverwendungsnachweis** zeigt für ein Einzelteil oder eine Baugruppe an, in welcher absoluten Menge dieses in übergeordneten Baugruppen oder Erzeugnissen einfließt.

Der **Strukturverwendungsnachweis** zeigt für ein Einzelteil oder eine Baugruppe in einer strukturellen Anordnung alle übergeordneten Baugruppen durchgängig bis zum Endprodukt mit der entsprechenden Menge an.

Beim **Baukastenverwendungsnachweis** werden nur die jeweils direkt übergeordneten Baugruppen und Produkte aufgelistet.

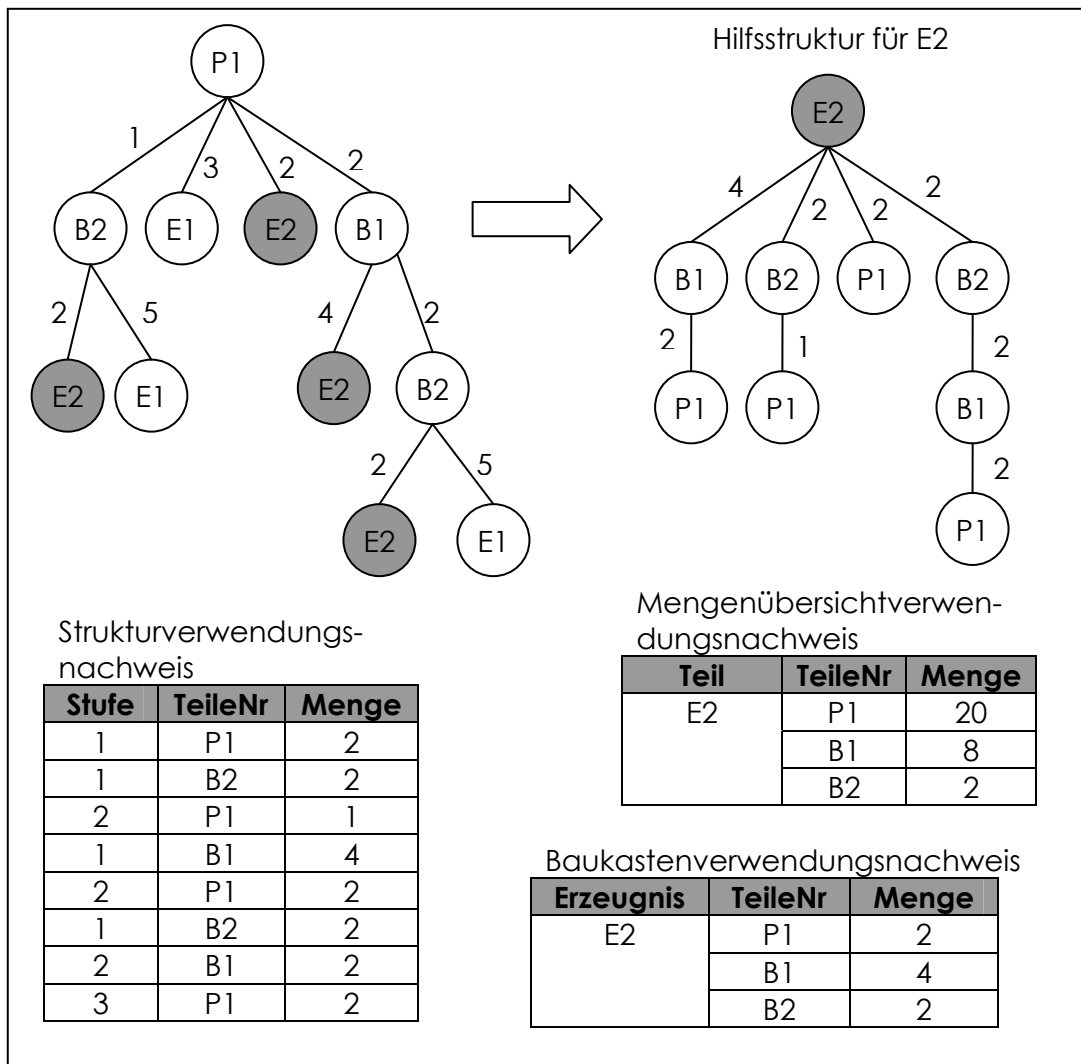
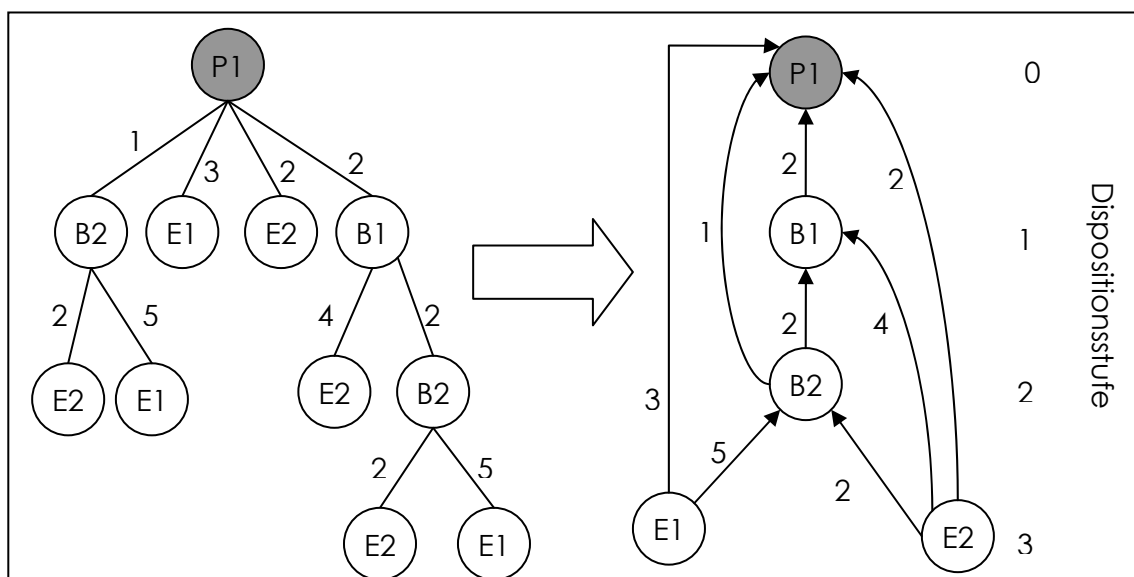


Abbildung 5: Beispiele Verwendungsnachweis

### 3.1.3 Gozintographenmethode

Die Gozintographenmethode baut auf dem Gozintographen von Andrew Vazsonyi auf, der als Urheber den fiktiven italienischen Mathematiker Zepartzat Gozinto, was so viel bedeutet wie „the part that goes into“, zitiert.<sup>17</sup> Dieses Verfahren ist eine Weiterentwicklung von Analytischen und Synthetischen Methoden.

Ein Gozintograph ist ein gerichteter Graph, welcher in den Knoten das entsprechende Material enthält und mithilfe von Kanten, die eine Mengenbeziehung zwischen den Knoten herstellt, verbunden. Für die Erstellung eines Gozintographen ist es notwendig, die Struktur des Erzeugnisses zu kennen und das Erzeugnis nach seinen Dispositionsstufen aufzugliedern. Als Dispositionsstufe wird die tiefste unterste Produktions- oder Fertigungsstufe bezeichnet.<sup>18</sup> Eine entsprechende Auflösung des Produktes erhält man durch die Anwendung einer Strukturstückliste, welche unter anderen auch als Dispositionsstückliste bekannt ist.



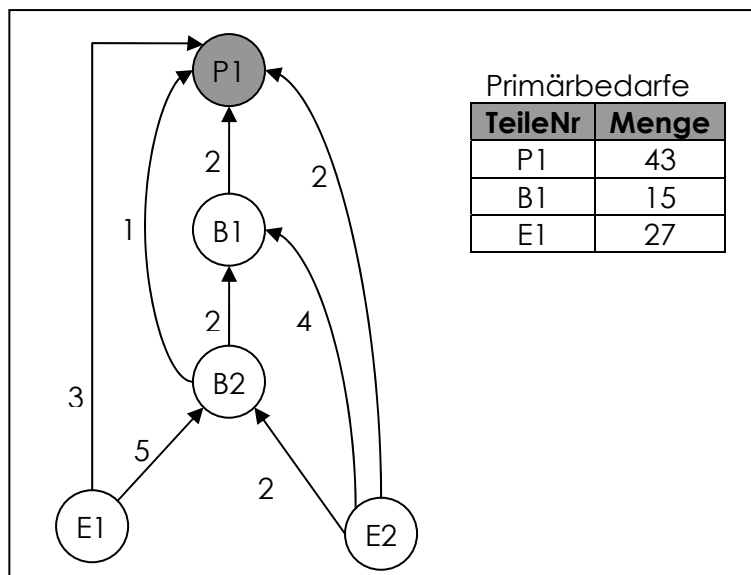
**Abbildung 6: Überführung in Gozintograph**

Verknüpft man nun die einzelnen Knoten mit Primärbedarfen, kann mit der Berechnung der Bedarfe begonnen werden. Im Weiteren wird die Berechnung von Bedarfen aufbauend auf den erstellten Gozintographen erklärt.

<sup>17</sup> Vgl. Günther, Tempelmeier (2012), S.187

<sup>18</sup> Vgl. Hüttner, Heuer (2004), S.48

### Berechnung Bedarf aus Gozintograph



**Abbildung 7: Beispiel mit Primärbedarfen**

Aus der Angabe ist ersichtlich, dass von Erzeugnis P1 43 Stück benötigt werden. Zusätzlich sollen noch 15 Stück der Baugruppe B1 und 27 Stück des Einzelteils E1 produziert werden.

Die Berechnung startet beim Endprodukt und geht retrograd durch den Graphen bis die letzte Dispositionsstufe erreicht ist. Der Berechnungsvorgang startet mit P1 als Enderzeugnis. Da keine Mengenbeziehungen von P1 abfließen, ist der Sekundärbedarf für P1 gleich 0. Der daraus resultierende Gesamtbedarf entspricht dem Primärbedarf (Spalte 4 Abbildung 8). Als nächsten Schritt werden alle in das Enderzeugnis P1 einfließenden Teile betrachtet. In unserem Beispiel sind das die Baugruppen B1 und B2 und die Einzelteile E1 und E2. Diese werden entsprechend ihrer einfließenden Menge mit dem Gesamtbedarf von P1 multipliziert (Spalte 7 Abbildung 8). Danach werden alle partiellen Sekundärbedarfe der gleichen Teile über alle bisherigen Dispositionsstufen, inklusive der aktuellen, aufsummiert (Spalte 8 Abbildung 8). Anschließend werden die Berechnungen für die nächste Dispositionsstufe ausgeführt. Hierbei handelt es sich in unserem Beispiel um die Baugruppe B1. Befinden sich 2 Teile auf derselben Ebene, kann frei entschieden werden, welche gewählt wird. Der aus der vorherigen Dispositionsstufe kumulierte partielle Sekundärbedarf dieser Baugruppe wird in die Spalte Sekundärbedarf eingetragen. Anschließend läuft die Berechnung gleich wie vorhin beschrieben.

Produkt	Primärbedarf	Sekundärbedarf	Gesamtbedarf	Einfließend	Menge	Partieller Sekundärbedarf	Summe Partieller Sekundärbedarf
J	$y_j$	$s_j$	$x_j = y_j + s_j$	$j'$	$a_{jj'}$	$s_{j'}(j) = a_{jj'} * x_j$	$\sum_j s_{j'}(j)$
P1	43	0	43	B1	2	86	86
				B2	1	43	43
				E1	3	129	129
				E2	2	86	86
B1	15	86	101	B2	2	202	245
				E2	4	404	490
B2	0	245	245	E1	5	1225	1354
				E2	2	490	980
E1	27	1354	1381				
E2	0	980	980				

Abbildung 8: Gesamtbedarfsberechnung zum Gozintograph aus Abbildung 7

Die Ergebnisse stehen in der Spalte Gesamtbedarf. Zur Kontrolle kann man die Berechnung mit einem Primärbedarf von P1 = 1 während die restlichen Teile 0 sind berechnen. Als Ergebnis müssen die Werte, die in der Mengenübersichtsstückliste enthalten sind, herauskommen. Diese Berechnungen lassen sich auch sehr schön in einem Tabellenkalkulationsprogramm durchführen.

### Berechnung mithilfe eines Gleichungssystems

Jeder Gozintograph lässt sich auch einfach in ein Gleichungssystem umschreiben und mit entsprechenden Verfahren lösen.<sup>19</sup>

$$i = b_i + \sum a_{ij} * x_j \tag{3.1}$$

$b_i$  = Primärbedarf des i-ten Elements

$a_{ij}$  = Anzahl der Mengeneinheit des Erzeugnisses i für die Produktion von einer Mengeneinheit des Erzeugnisses j

$x_j$  = Gesamtbedarf des Erzeugnisses j

<sup>19</sup> Vgl. Günther, Tempelmeier (2012), S.192

Die Gleichungen für unser Beispiel würden wie folgt aussehen:

$$P1 = 43 + 0 * E1 + 0 * E2 + 0 * B1 + 0 * B2 + 0 * P1$$

$$B1 = 15 + 0 * E1 + 0 * E2 + 0 * B1 + 0 * B2 + 2 * P1$$

$$B2 = 0 + 0 * E1 + 0 * E2 + 2 * B1 + 0 * B2 + 1 * P1$$

$$E1 = 27 + 0 * E1 + 0 * E2 + 0 * B1 + 5 * B2 + 3 * P1$$

$$E2 = 0 + 0 * E1 + 0 * E2 + 4 * B1 + 2 * B2 + 2 * P1$$

Löst man dieses Gleichungssystem auf, erhält man die gleichen Ergebnisse für den Gesamtbedarf wie in Abbildung 8.

### 3.1.4 Verwendung von Matrizen

Unser Beispiel stellt eine sehr einfache Variante eines Produktes dar. Bei komplexeren Strukturen, bei denen mehrere Komponenten, auch ineinander verschlungen, verwendet werden, wird diese Berechnung schnell unübersichtlich und undurchführbar. Die Variante der Gesamtbedarfsberechnung mittels Matrizen ist besonders für die Programmierung der Berechnung geeignet, da Matrizen als 2-dimensionale Arrays in den gängigsten Programmiersprachen umsetzbar sind.

Hierzu muss unsere Produktstruktur oder der Gozintograph in eine so genannte **Direktbedarfsmatrix** umgewandelt werden (Abbildung 9). Wir verwenden hierzu wieder unser bekanntes Beispiel.

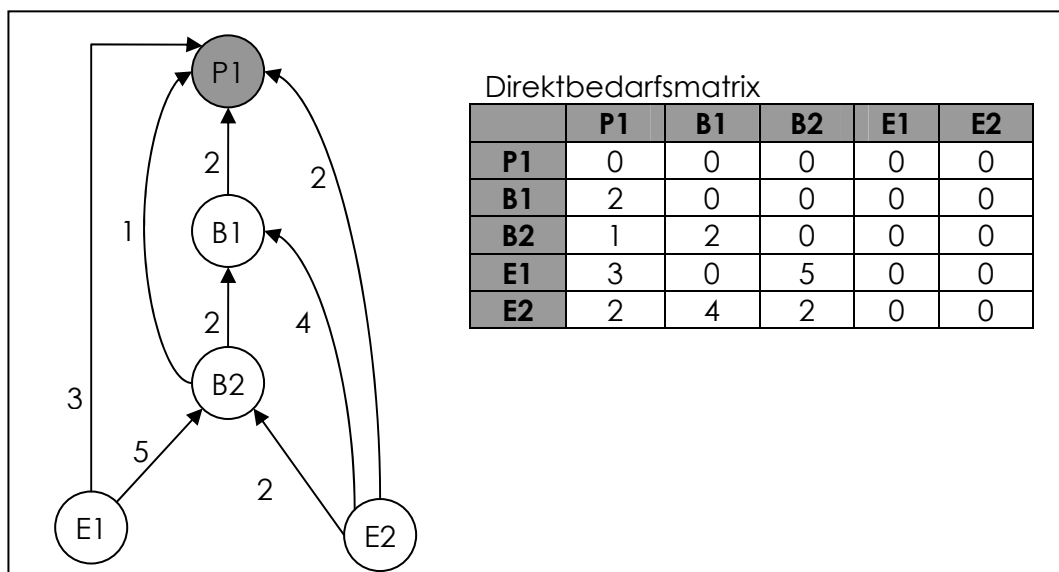


Abbildung 9: Direktbedarfsmatrix



Liest man die Direktbedarfsmatrix zeilenweise, so sieht man, wie viel Teile dieser Zeile in das jeweilige Produkt in der Spalte einfließen, man erhält also die Werte eines Baukastenverwendungsnachweises. Spaltenweise gelesen, erhält man die für den Bau dieses Produktes benötigten Teile und Baugruppen, also eine Baukastenstückliste.

Um den Gesamtbedarf zu erhalten, benötigt man die **Gesamtbedarfsmatrix**. Benennt man die Direktbedarfsmatrix  $D$ , die Gesamtbedarfsmatrix  $G$  und die Einheitsmatrix  $E$ , berechnet sich daraus die Gesamtbedarfsmatrix wie folgt:<sup>20</sup>

$$G = (E - D)^{-1} \quad (3.2)$$

$G$  = Gesamtbedarfsmatrix  
 $E$  = Einheitsmatrix  
 $D$  = Direktbedarfsmatrix

Wobei die Berechnung von  $E - D$  als **Technologiematrix**  $T$  werden kann. Somit ergibt sich als Ausdruck für die Gesamtbedarfsmatrix

$$G = T^{-1} \quad (3.3)$$

$T$  = Technologiematrix

Um die einzelnen Bedarfe zu ermitteln, wird die Gesamtbedarfsmatrix abschließend mit dem Primärbedarfsvektor multipliziert. Wird von diesem der Primärbedarfsvektor subtrahiert, erhält man die Sekundärbedarfe für das Endprodukt

$$g = G \cdot p \quad (3.4)$$

$$s = g - p \quad (3.5)$$

$g$  = Gesamtbedarfsvektor  
 $s$  = Sekundärbedarfsvektor

---

<sup>20</sup> Schulte (2001), Seite 135

**Beispiel:**

Rechnet man jetzt unser Beispiel unter Verwendung der Formeln (3.2) bis (3.5) durch, erhält man folgende Werte.

$$T = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & 1 & 0 & 0 \\ -3 & 0 & -5 & 1 & 0 \\ -2 & -4 & -2 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Die Berechnung der Inversen von T wird hier nicht vorgezeigt.

$$G = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 28 & 10 & 5 & 1 & 0 \\ 20 & 8 & 2 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$g = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 2 & 1 & 0 & 0 \\ 28 & 10 & 5 & 1 & 0 \\ 20 & 8 & 2 & 0 & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 43 \\ 15 \\ 0 \\ 27 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 43 \\ 101 \\ 245 \\ 1381 \\ 980 \end{vmatrix} \begin{matrix} P1 \\ B1 \\ B2 \\ E1 \\ E2 \end{matrix}$$

Um jetzt für das Produkt P1 die erforderlichen Sekundärbedarfe zu erhalten, kann der Primärbedarfsvektor vom Gesamtbedarfsvektor abgezogen werden. Somit erhält man den **Sekundärbedarfsvektor** s mit folgenden Werten

$$s = (0,86,245,1354,980)$$

## 3.2 Stochastische Verfahren

Stochastische Verfahren sind auch unter dem Namen Verbrauchsgesteuerte Verfahren bekannt.<sup>21</sup> Dieser zweite Name gibt eigentlich schon sehr viel Auskunft, worum es bei diesen Verfahren geht. Zur Berechnung des Bedarfes beziehen sich diese Verfahren auf in der Vergangenheit verbrauchte Materialien und versuchen daraus eine Prognose für die nächsten Perioden zu treffen.

Hierzu ist es wichtig, die Verbrauchswerte aus den vergangenen Perioden genau aufzuzeichnen, um diese Berechnungen durchführen zu können. Die Verfahren funktionieren immer nach ähnlichem Schema. Zu Beginn muss der Verbrauch auf bestimmte Gesetzmäßigkeiten untersucht und anschließend mithilfe geeigneter Verfahren eine Prognose für den Bedarf erstellt werden. Um diese Verfahren ausführen zu können, ist eine große Datenbasis mit genügend Informationen über den Verbrauch des Materials notwendig.

Anwendungen finden Stochastische Verfahren vor allem, wenn die Bedarfsermittlung durch Stücklistenauflösung nicht möglich oder zu kostenintensiv ist. Dies trifft auf geringwertige bzw. standardisierte Güter (B- und C-Teile) oder Materialien des tertiären Bedarfs zu.<sup>22</sup> Auch bei keiner eindeutigen Beziehung zwischen Produktionsprogramm und Materialverbrauch, z. B. unplanmäßig hohem Ausschuss oder Ersatzteilbedarf, können stochastische Methoden eingesetzt werden.<sup>23</sup>

Verbrauchsgesteuerte Verfahren erfordern weniger Aufwand, jedoch beinhalten sie aufgrund der statistischen Auswertung gewisse Ungenauigkeiten in der Bedarfsberechnung. Durch die Anwendung dieser Verfahren im Rahmen eines PPS-System kann routinemäßige Arbeit durch das System erledigt werden, wodurch sich ein Planer vermehrt auf Materialien mit stark schwankendem Bedarf oder großen Problemen konzentrieren kann.

---

<sup>21</sup> Vgl. Wannewetsch (2007), S.47

<sup>22</sup> Vgl. Kopsidis (1997), S.61

<sup>23</sup> Vgl. Schulte (2001), S.140

### 3.2.1 Verbrauchsverläufe

Ein wichtiger Schritt für die Anwendung von verbrauchsgesteuerten Verfahren ist das Erkennen einer Charakteristik im Materialverbrauch und die darauf basierte Auswahl des richtigen Verfahrens. Es gibt bestimmte Grundtypen im Materialverbrauch, welche als Einführung kurz erläutert werden.<sup>24</sup>

#### **Konstant**

Bei einem konstanten Verbrauchsverlauf schwanken die Verbrauchswerte um einen über die Zeit langfristig konstanten Mittelwert. Es gibt nur geringfügige Ausschläge nach unten oder oben.

#### **Trendförmig**

Haben die Verbrauchswerte über die Zeit gesehen eine Steigung, so handelt es sich um einen trendförmigen Verbrauchsverlauf. Dieser kann positiv oder negativ sein, sprich der Verbrauch steigt oder fällt. Der einfachste Fall eines trendförmigen Verlaufs ist ein linearer Trend. Es kann aber auch vorkommen, dass ein Trend nicht linear steigt oder fällt.

#### **Saisonal**

Enthält ein Verbrauchsverlauf periodisch wiederkehrende Spitzen, so spricht man von einem saisonalen Verlauf. Ein Grund für einen saisonalen Verlauf ist in den meisten Fällen der Wechsel zwischen den Jahreszeiten.

#### **Trend-Saisonal**

Bei einem trend-saisonalen Verlauf wird neben den periodisch erkannten Spitzenwerten auch eine Steigung oder ein Rückgang des Verbrauches nach linearen oder nicht linearen Mustern erkannt.

#### **Unregelmäßig**

Verläufe, bei denen keines der obigen Muster festgestellt werden kann, werden als unregelmäßige oder sporadische Verbrauchsverläufe bezeichnet. Sie sind schwer planbar<sup>25</sup> und sollten wenn möglich vermieden werden.

---

<sup>24</sup> Vgl. Schulte (2001), S.141ff

<sup>25</sup> Vgl. Wannewetsch (2010), S.49

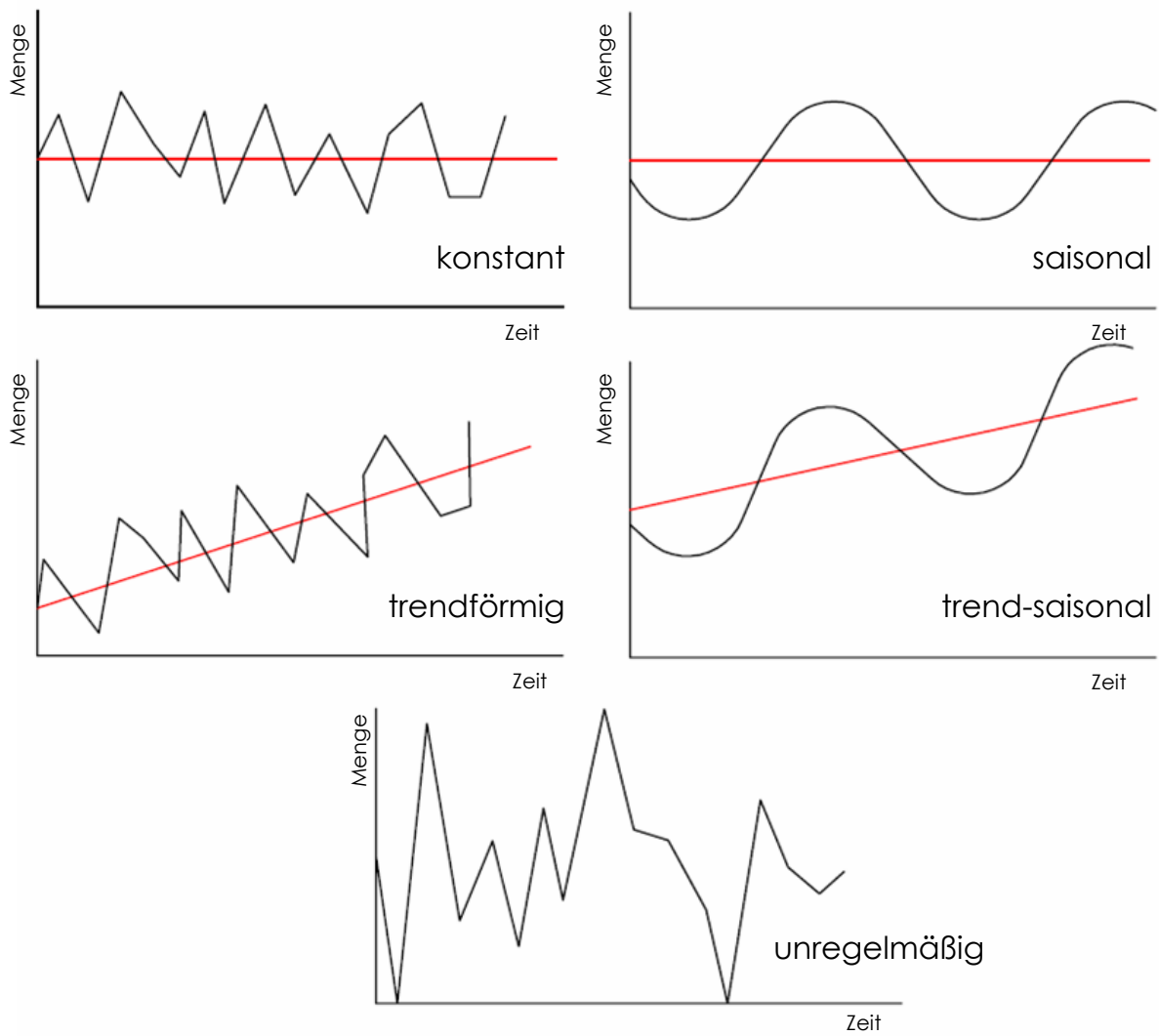


Abbildung 10: Verbrauchsverläufe<sup>26</sup>

<sup>26</sup> Vgl. Schulte (2001), S.142

### 3.2.2 Arithmetischer Mittelwert

Die Berechnung der Prognose für den Materialbedarf mithilfe des arithmetischen Mittelwerts funktioniert, indem die Verbräuche der vergangenen Perioden summiert und durch die Anzahl der Perioden dividiert werden. Durch die Gleichgewichtung der gesamten Verbräuche kann eine Entwicklung in eine Richtung (Trend) nicht erkannt werden. Die Berechnung wird wie folgt durchgeführt:<sup>27</sup>

$$P_{n+1} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad (3.6)$$

$P_{n+1}$  = Prognosewert für Periode  $n+1$   
 $V_i$  = Verbrauchswert für Periode  $i$   
 $n$  = Anzahl der betrachteten Perioden

#### Beispiel

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
100	86	97	110	104	99	95	102	115	113	99	95

**Tabelle 3: Beispiel konstanter Verlauf**

Die Prognose für die nächste Periode (dreizehn) berechnet sich mithilfe der Formel (3.6) aus diesen Werten wie folgt

$$P_{13} = \frac{\sum_{i=1}^{12} V_i}{12} = \frac{100 + 86 + 97 + 110 + 104 + 99 + 95 + 102 + 115 + 113 + 99 + 95}{12} = 101,25$$

### 3.2.3 Gleitender Mittelwert

Bei der Prognose mithilfe des gleitenden Mittelwertes werden nicht alle Perioden zur Berechnung herangezogen. Es werden nur die letzten  $n$ -Perioden zur Mittelwertberechnung herangezogen, wobei die Anzahl  $n$  frei wählbar ist, jedoch innerhalb eines Prognoseverfahrens fixiert ist. Der Parameter  $n$  wird üblicherweise mit 3 oder 5 gewählt. Durch diese Berechnung wird den jüngsten Perioden mehr Bedeutung gewidmet und das Ergebnis lokal geglättet. Die Berechnung wird wie folgt durchgeführt:<sup>28</sup>

<sup>27</sup> Vgl. Wannenwetsch (2010), S.53

<sup>28</sup> Vgl. Schulte (2001), S.145

$$P_{t+1} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{t-(i-1)}}{n} \quad (3.7)$$

$P_{t+1}$  = Prognosewert für Periode  $t+1$

$V_{t-(i-1)}$  = Verbrauchswert für Periode  $t-(i-1)$

$t$  = letzte betrachtete Periode

### Beispiel:

Für die Berechnung eines Prognosewertes für die 13. Periode ( $t+1$ ) wird wieder der Verbrauchsverlauf aus Tabelle 3 herangezogen. Es werden zwei voneinander unabhängige Werte mithilfe der Formel (3.7) mit  $n=3$  und  $n=5$  berechnet.

$n=3$

$$P_{13} = \frac{\sum_{i=1}^3 V_{12-(i-1)}}{3} = \frac{V_{12} - V_{11} - V_{10}}{3} = \frac{95 + 99 + 113}{3} = 102,33$$

$n=5$

$$P_{13} = \frac{\sum_{i=1}^5 V_{12-(i-1)}}{5} = \frac{V_{12} - V_{11} - V_{10} - V_9 - V_8}{5} = \frac{95 + 99 + 113 + 115 + 102}{5} = 104,8$$

### 3.2.4 Gewichteter gleitender Mittelwert

Die Berechnung gewichteter gleitender Mittelwerte funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie bei der Berechnung des reinen arithmetischen Mittelwertes. Es kann jedoch durch die Verwendung von Gewichtung einzelner Perioden der Schwerpunkt auf die letzten Perioden gelegt werden. Weiters können auch Ausreißer, welche das Ergebnis verfälschen würden, verstärkt aus der Berechnung genommen werden. Auch hier können die Perioden wie bei den gleitenden Mittelwerten begrenzt werden. Die Berechnung wird wie folgt durchgeführt:<sup>29</sup>

$$P_{t+1} = \sum_{i=1}^n V_{t-(i-1)} * k_{i-1} \quad (3.8)$$

$k_{i-1}$  = Gewichtung der Verbrauchswerte

<sup>29</sup> Vgl. Schulte (2001), S.147

Es ist darauf zu achten, dass die Summe der Gewichte  $\sum_{i=0}^{n-1} k_i$  gleich 1 ergibt.

### Beispiel:

Für die Berechnung eines Prognosewertes für die 13. Periode (t+1) wird wieder der Verbrauchsverlauf aus Tabelle 3 herangezogen. Es werden zwei voneinander unabhängige Werte mithilfe der Formel (3.8) mit n=3 und n=5 berechnet.

n=3 Gewichtung:  $k_0=0,6$ ;  $k_1=0,27$ ;  $k_2=0,13$

$$P_{13} = \sum_{i=1}^3 V_{12-(i-1)} * k_{i-1} = V_{12} * k_0 + V_{11} * k_1 + V_{10} * k_2 = 95 * 0,6 + 99 * 0,27 + 113 * 0,13 = 98,42$$

n=5 Gewichtung:  $k_0=0,5$ ;  $k_1=0,23$ ;  $k_2=0,17$ ;  $k_3=0,08$ ;  $k_4=0,02$

$$P_{13} = \sum_{i=1}^5 V_{12-(i-1)} * k_{i-1} = 95 * 0,5 + 99 * 0,23 + 113 * 0,17 + 115 * 0,08 + 102 * 0,02 = 100,72$$

## 3.2.5 Exponentielle Glättung 1. Ordnung

Bei der exponentiellen Glättung 1. Ordnung wird ein berechneter Prognosewert mit dem tatsächlich eingetretenen Verbrauch abgeglichen und die Abweichung mit einem Glättungsfaktor gewichtet. Dies wird mit dem alten Prognosewert addiert und ergibt den neuen Prognosewert.

So besteht der neue Prognosewert aus dem alten Prognosewert plus einer Gewichtung des alten Prognosefehlers.<sup>30</sup> Der Glättungskonstante wird mit dem Buchstaben  $\alpha$  bezeichnet und liegt zwischen 0 und 1. Der neue Prognosewert berechnet sich wie folgt:<sup>31</sup>

$$P_{t+1} = P_t + \alpha * (V_t - P_t) \quad (3.9)$$

$V_t$  = Verbrauch der Periode t

$\alpha$  = Glättungskonstante

### Beispiel:

Da für die Berechnung des Prognosewertes der 13. Periode alle vorherigen Prognosewerte benötigt werden, wird die Lösung hier in Tabellenform gezeigt. Die Werte beziehen sich wieder auf die Werte aus Tabelle 3 und werden mit der Formel (3.9)

<sup>30</sup> Vgl. Schulte (2001), S.148

<sup>31</sup> Vgl. Kopsidis (1997), S.69



berechnet. Als Glättungsfaktor werden verschiedene Glättungsparameter zwischen null und eins gewählt.

t	Verbrauch $V_t$	Prognosewerte $P_{t+1}$				
		$\alpha = 0$	$\alpha = 0,3$	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,7$	$\alpha = 1$
Dez		99	99	99	99	99
Jan	100	99	99,3	99,5	99,7	100
Feb	86	99	95,31	92,75	90,11	86
Mrz	97	99	95,82	94,88	94,93	97
Apr	110	99	100,07	102,44	105,48	110
Mai	104	99	101,25	103,22	104,44	104
Jun	99	99	100,58	101,11	100,63	99
Jul	95	99	98,90	98,05	96,69	95
Aug	102	99	99,83	100,03	100,41	102
Sep	115	99	104,38	107,51	110,62	115
Okt	113	99	106,97	110,26	112,29	113
Nov	99	99	104,58	104,63	102,99	99
Dez	95	<b>99</b>	<b>101,70</b>	<b>99,81</b>	<b>97,40</b>	<b>95</b>
Jan						

**Tabelle 4: Exponentielle Glättung 1. Ordnung**

$$P_{13} = P_{12} + \alpha * (V_{12} - P_{12}) = 104,62 + 0,5 * (95 - 104,62) = 99,81$$

Anhand der in Tabelle 4 dargebrachten Werte erkennt man, dass die Wahl des richtigen Glättungsparameters wichtig ist. Ein zu niedriger Wert basiert zu sehr auf den letzten Prognosewerten und reagiert sehr langsam auf Änderungen beim Verbrauch, währenddessen ein zu hoher Wert sich rein am Verbrauch der aktuellen Periode orientiert. Die Wirkungen des Glättungsparameters werden in der folgenden Tabelle nochmals zusammengefasst.<sup>32</sup>

	Großes $\alpha$	Kleines $\alpha$
Berücksichtigung Vergangenheitswerte	gering	stark
Berücksichtigung neuer Werte	stark	gering
Glättung	gering	stark
Anpassung an Niveaushiftung	schnell	langsam

**Tabelle 5: Wirkung unterschiedlicher Glättungsparameter**

<sup>32</sup> Vgl. Schulte (2001), S.158

### 3.2.6 Exponentielle Glättung 2. Ordnung

Das Verfahren der exponentiellen Glättung 2. Ordnung baut auf der exponentiellen Glättung 1. Ordnung auf und eignet sich für trendförmige Verbräuche. Um den Einfluss von Zufallsschwankungen weiter zu reduzieren, werden die Mittelwerte 1. Ordnung weiter geglättet. Diese Mittelwerte der Mittelwerte berechnen sich wie folgt:<sup>33</sup>

$$P_{t+1}^{(2)} = P_t^{(2)} + \beta * (P_t^{(1)} - P_t^{(2)}) \quad (3.10)$$

$P_{t+1}^{(2)} / P_t^{(2)}$  = doppelt geglätteter Mittelwert

$P_t^{(1)}$  = einfach geglätteter Mittelwert; Formel (3.9)

$\beta$  = Glättungskonstante doppelt geglätteter Mittelwert

Die Berechnung der Prognose wird anschließend mit folgender Formel durchgeführt:

$$P_{t+1} = 2 * P_t^{(1)} - P_t^{(2)} \quad (3.11)$$

Um Prognosen für einen größeren Zeitraum zu erstellen kann sich parallel zu der Prognose die Steigung der Trendgerade berechnet werden und durch Addition dieser zum letzten Prognosewert eine Trendgerade fortgeschrieben werden.

$$k_{t+1} = P_t^{(2)} - P_t^{(1)} \quad (3.12)$$

$$P_{t+1+i} = P_{t+1} + i * k_{t+1} \quad (3.13)$$

$k_{t+1}$  = Steigung der Trendgerade ab Periode t+1

$P_{t+1+i}$  = Prognosewert für Periode t+1+i

i = Anzahl zusätzlicher Perioden

#### Beispiel:

Da sich die exponentielle Glättung 2. Ordnung besonders für trendförmige Verbrauchsverläufe eignet, werden für die Berechnung andere Verbrauchswerte als bisher verwendet.

<sup>33</sup> Vgl. [http://help.sap.com/saphelp\\_em70/helpdata/de/47/f253e19eb84ac5e10000000a42189d/content.htm](http://help.sap.com/saphelp_em70/helpdata/de/47/f253e19eb84ac5e10000000a42189d/content.htm), abgerufen am 4.2.2013 um 14:37

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
100	115	110	125	130	128	141	135	150	146	154	163

**Tabelle 6: Beispiel Trendförmiger Verbrauch**

Für die Berechnung der Prognose werden die Formeln (3.10) - (3.13) verwendet. Weiters werden die Glättungsparameter jeweils mit 0,3 festgelegt.

t	V <sub>t</sub>	P <sub>t+1</sub> <sup>(1)</sup>	P <sub>t+1</sub> <sup>(2)</sup>	P <sub>t+1</sub>	k <sub>t+1</sub>
		α = 0,3	β = 0,3		
Dez		100,00	100,00	100,00	0,00
Jan	100	100,00	100,00	100,00	0,00
Feb	115	104,50	101,35	107,65	1,35
Mrz	110	106,15	102,79	109,51	1,44
Apr	125	111,81	105,49	118,12	2,70
Mai	130	117,26	109,03	125,50	3,53
Jun	128	120,48	112,46	128,51	3,44
Jul	141	126,64	116,72	136,56	4,25
Aug	135	129,15	120,45	137,85	3,73
Sep	150	135,40	124,93	145,87	4,49
Okt	146	138,58	129,03	148,14	4,09
Nov	154	143,21	133,28	153,13	4,25
Dez	163	149,15	138,04	<b>160,25</b>	4,76
Jan				165,01	
Feb				169,77	

**Tabelle 7: Ergebnisse Exponentielle Glättung 2. Ordnung**

### 3.2.7 Lineare Regressionsanalyse

Bei der Regressionsanalyse wird die Abhängigkeit einer oder mehrerer Variablen von einer Variablen untersucht. Ziel ist es, dabei eine Funktion zu finden, bei der diese Abhängigkeit am besten beschrieben wird. Im Fall der linearen Regressionsanalyse ist die Zielfunktion durch eine Gerade gegeben. Diese wird wie folgt aufgestellt:

$$P_i = k * t_i + d \quad (3.14)$$

P<sub>i</sub> = Prognosewert in der Periode i

k = Steigung der Prognosegeraden

t<sub>i</sub> = Zeitwert der Periode

d = Versatz in y-Richtung

Um die Abweichung zwischen den Verbrauchswerten und den Prognosewerten zu bestimmen, wird der Abstand zwischen den Werten quadriert. Dies kommt daher, da es sowohl positive als auch negative Abweichungsabstände zur Regressionsgeraden gibt. Daher wird diese Methode auch Methode der kleinsten Quadratsumme genannt.<sup>34</sup>

$$SAQ = \sum_{i=1}^n (V_i - P_i)^2 \quad (3.15)$$

SAQ = Summe der quadrierten Abstände

$V_i$  = Verbrauch in der Periode  $i$

In die Formel (3.14) wird nun die Zielfunktion aus (3.15) eingesetzt. Nun wird versucht, aus der erhaltenen Funktion das Minimum zu ermitteln. Dies wird erreicht, indem man die partiellen Ableitungen erster Ordnung der Gleichung gleich null setzt. Das anschließende Gleichungssystem muss nun nach den Koeffizienten der Zielfunktion ( $k$  und  $d$ ) aufgelöst werden. Führt man diese durch, so erhält man die beiden Gleichungen für die lineare Regression:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n t_i^2 * \sum_{i=1}^n V_i - \sum_{i=1}^n t_i * \sum_{i=1}^n t_i * V_i}{n * \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad (3.16)$$

$$k = \frac{n * \sum_{i=1}^n t_i * V_i - \sum_{i=1}^n t_i * \sum_{i=1}^n V_i}{n * \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad (3.17)$$

<sup>34</sup> Vgl. Schulte (2001), S.165ff

**Beispiel:**

Zur Veranschaulichung wird auch hier ein Beispiel mit den Daten aus Tabelle 6 durchgerechnet. Es kommen dabei die Formeln 3.16 und 3.17 zum Einsatz

<b>i</b>	<b>t<sub>i</sub></b>	<b>V<sub>i</sub></b>	<b>t<sub>i</sub><sup>2</sup></b>	<b>t<sub>i</sub>*V<sub>i</sub></b>
<b>Jan</b>	1	100	1	100
<b>Feb</b>	2	115	4	230
<b>Mrz</b>	3	110	9	330
<b>Apr</b>	4	125	16	500
<b>Mai</b>	5	130	25	650
<b>Jun</b>	6	128	36	768
<b>Jul</b>	7	141	49	987
<b>Aug</b>	8	135	64	1080
<b>Sep</b>	9	150	81	1350
<b>Okt</b>	10	146	100	1460
<b>Nov</b>	11	154	121	1694
<b>Dez</b>	12	163	144	1956
<b>Sum</b>	<b>78</b>	<b>1597</b>	<b>650</b>	<b>11105</b>

**Tabelle 8: Hilfstabelle für lineare Regression**

Daraus ergibt sich über 12 Perioden (n=12) folgende Werte für die Regressionsgerade

$$d = \frac{650 * 1597 - 78 * 11105}{12 * 650 - (78)^2} = \frac{171860}{1716} = 100,15$$

$$k = \frac{12 * 11105 - 78 * 1597}{12 * 650 - (78)^2} = \frac{8694}{1716} = 5,0664$$

Daraus ergibt sich die Gleichung für die Regressionsgerade und weitere Prognosewerte für die Perioden 13, 14, ...

$$P_i = 5,0664 * t_i + 100,15$$

$$P_{13} = 5,0664 * 13 + 100,15 = 166,0132$$

$$P_{14} = 5,0664 * 14 + 100,15 = 171,0796$$

### 3.2.8 Verfahren für Verlauf

Abschließend zu den stochastischen Methoden soll eine kurze Gegenüberstellung der einzelnen Verfahren mit den Verbrauchsverläufen diese noch einmal zusammenfassen. Nicht jedes Verfahren ist für jeden Verbrauchverlauf geeignet. Die folgende Tabelle zeigt eine Zuteilung der Verfahren zu den entsprechenden Verbrauchsverläufen.

	Konstant	Linearer Trend	Nichtlinearer Trend	Saisonal	Saisonal mit Trend	Sporadisch
Einfacher Mittelwert	++					
Gleitender Mittelwert	++	o				o
Gewichteter gleitender Mittelwert	++					
Einfache Regression	+	++				
Multiple Regression	+	+	++	++	++	
Exponentielle Glättung 1. Ordnung	++					
Exponentielle Glättung 2. Ordnung	+	++				
Exponentielle Glättung 3. Ordnung	+	+	++			
Exponentielle bei saisonaler Nachfrage	+	+	+	++	++	
++: geeignet; +: geeignet aber nicht sinnvoll; o: bedingt geeignet						

**Tabelle 9: Eignung der stochastischen Methoden bei verschiedenen Bedarfsverläufen<sup>35</sup>**

<sup>35</sup> Vgl. Wannewetsch (2007), S. 51

### 3.3 Heuristische Verfahren

Heuristische Verfahren werden auch als Subjektive Schätzungen bezeichnet. Anwendung finden diese Verfahren bei sehr geringwertigen Produkten, für die keine bzw. nicht ausreichend viele Verbrauchswerte für stochastische Berechnungen vorhanden sind oder ein vollkommen unerwarteter und unregelmäßiger Bedarfsverlauf vorliegt bzw. erwartet wird. Die Bedarfsschätzung findet bei Einzelfertigung, Produktneuentwicklung, Werkstattfertigung oder speziellen Kundenwünschen Anwendung.<sup>36</sup>

Es werden grundsätzlich zwei Verfahren unterschieden. Dies ist zum einen die Analogschätzung und zum andern die Intuitivschätzung.<sup>37</sup>

#### **Analogschätzung**

Bei diesem Verfahren wird versucht, den Materialbedarf anhand von vergleichbaren Materialien auf das zu planende Material zu übertragen. Dies kann zum Beispiel ein Vorgängerprodukt oder ein ähnliches Produkt sein.

#### **Intuitivschätzung**

Existieren keine vergleichbaren Werte, so muss die Intuitivschätzung angewendet werden. Hierbei wird versucht, den Materialbedarf mithilfe von Expertenmeinungen und Erfahrungen einzelner Personen abzuschätzen.

Bei beiden Verfahren ist jedoch festzuhalten, dass die Fehleinschätzungen oftmals sehr groß sein können und meist durch eine Überschätzung mit hohen Beständen abgedeckt wird.

Trotzdem sind gerade die Verfahren der Intuitivschätzung sehr weit und liefern teilweise aufgrund jahrelanger Erfahrung sehr gute Werte, welche sonst nur mittels aufwendiger Berechnungsverfahren erreicht werden können. Probleme in der Anwendung entstehen aber genau dann, wenn die durchführenden Personen nicht mehr verfügbar sind und nicht nachvollziehbar ist, wie der weitere Materialbedarf zu planen ist.

---

<sup>36</sup> Wannenwetsch (2007), S.55

<sup>37</sup> Seeck (2010), S.62

## 4 Materialbedarfsplanung im Tunnelbau

In den letzten Jahren steigt der Kostendruck in der Bauindustrie immer mehr an. Bedingt durch die wirtschaftlich allgemein schwierige Situation kommt es speziell im Baugewerbe zu Nachfrageeinbrüchen, wodurch die vorhandenen Kapazitäten nicht vollständig genutzt werden können. Diese Situation bringt viele Unternehmen in der Bauindustrie dazu, die eigene Arbeitsweise und Prozessabläufe zu betrachten und zu hinterfragen.

Was in anderen Industriebranchen bereits seit einigen Jahren in Verwendung ist, wird in der Bauindustrie erst nach und nach versucht anzuwenden. Durch die Einführung des Logistikkonzeptes haben sich in den verschiedenen Branchen große Einsparungspotentiale ergeben. Konzepte wie Just-in-Time, Lieferantenmanagement, Lean Logistic oder digitale Datenaufzeichnungen und Produktverfolgung (Barcode, RFID, Tracking & Tracing) sind in den meisten Branchen etabliert.

In der Bauwirtschaft wird nun versucht, durch verschiedene Projekte die bereits etablierten Konzepte für die eigenen Zwecke zu verwenden bzw. zu adaptieren. Jedoch können die in der stationären Industrie entwickelten Verfahren nicht eins zu eins bzw. nur bedingt auf Baustellen eingesetzt werden, da sich die Abläufe und Gegebenheiten etwas unterscheiden. Vor allem ändert sich die Situation jedes Mal, wenn eine neue Baustelle in Betrieb genommen wird, da sich alleine durch den neuen Standort bereits viele Umgebungsbedingungen ändern.

Im weiteren Verlauf wird versucht, die Verfahren zur Materialbedarfsplanung der stationären Industrie auf die Verwendung auf Tunnelbaustellen umzulegen. Der in dieser Arbeit verwendete Begriff einer Tunnelbaustelle bezieht sich nur auf Tunnel, welche mit der NATM (New Austrian Tunnelling Method) im zyklischen Vortrieb erstellt werden. Die Anwendungen der hier beschriebenen Erkenntnisse und Ergebnisse auf andere Vortriebsarten, wie zum Beispiel mittels einer TBM (Tunnelbohrmaschine), werden nicht betrachtet.



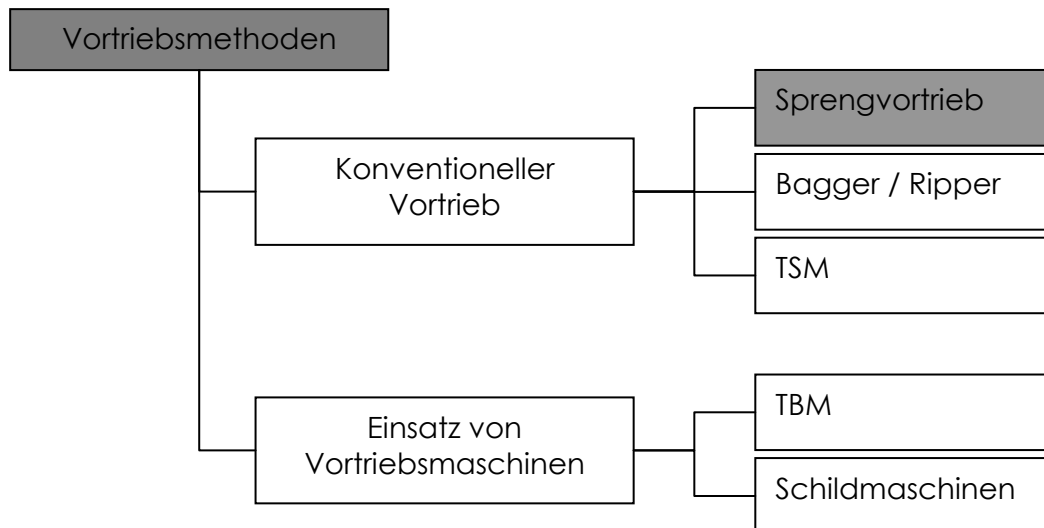


Abbildung 11: Einteilung Tunnelvortriebsarten<sup>38</sup>

## 4.1 NATM

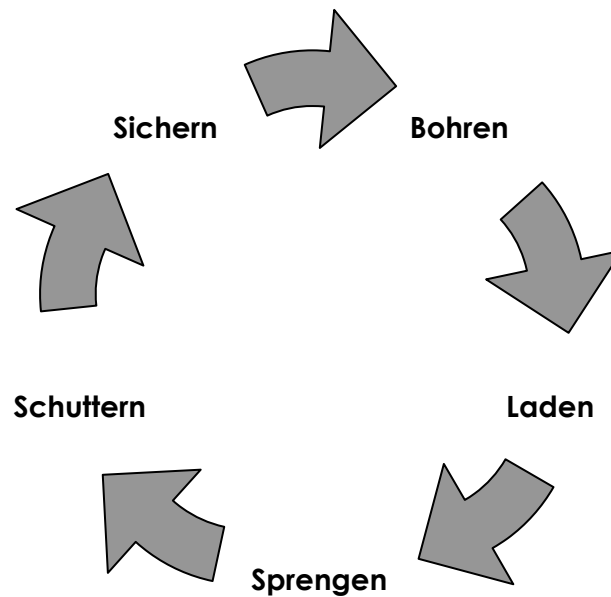
Der Beginn der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode ist auf Ladislaus von Rabcewicz zurückzuführen, der bereits kurz nach dem Zweiten Weltkrieg mit der Entwicklung begann.<sup>39</sup> Offiziell wurde die NATM, wie sie heute bezeichnet wird, im Oktober 1962 vorgestellt. Die Funktionsweise dieser Methode ist es, den Ausbruch mit einem dem Gebirgsdruck nachgebenden Ausbau aus Ankern und Spritzbeton zu sichern und erst nach Einstellen eines Gleichgewichtszustandes den Endausbau durchzuführen.

Zur Sicherung werden vor allem Spritzbeton mit Ankern, Stahlgittermatten und Tunnelbögen verwendet.<sup>40</sup> Zur Reduktion von Spannungskonzentrationen werden großteils runde oder ovale Querschnitte gewählt. Die Durchführung basiert auf einem Kreislauf, der sich entlang des Tunnelvortriebs immer wiederholt. Dabei werden die folgenden Arbeitsschritte hintereinander ausgeführt:

<sup>38</sup> Vgl. Girmscheid (2008), S.67

<sup>39</sup> Vgl. Schubert, Vavrovsky (1996), S.311ff

<sup>40</sup> [http://www.geodsz.com/deu/d/Neue\\_%C3%96sterreichische\\_Tunnelbauweise](http://www.geodsz.com/deu/d/Neue_%C3%96sterreichische_Tunnelbauweise), abgerufen am 8.2.2013 um 11:05



**Abbildung 12: Zyklischer Vortrieb<sup>41</sup>**

Die Vorteile dieser Methode sind unter anderem die Anwendbarkeit in stark wechselnden Gebirgsbedingungen und die Realisierbarkeit verschiedener Querschnitte.<sup>42</sup>

## 4.2 Voraussetzungen

Um die Anwendung von Methoden zur Materialbedarfsplanung aus der stationären Industrie auf Tunnelbaustellen zu ermöglichen, müssen bestimmte Rahmenbedingungen und Voraussetzungen vorhanden sein, da es sonst zu Problemen in der Umsetzung kommen kann.

### 4.2.1 Logistik

Durch den Einsatz von Planungsverfahren wird versucht, den Materialbedarf so exakt wie benötigt zu bestimmen, um einen hohen Lagerbestand zu vermeiden. Dies erfordert eine reibungslose funktionierende Lieferkette, in der die Materialien pünktlich angeliefert werden. In der stationären Industrie kommen in diesem Zusammenhang Konzepte wie Just-in-Time Lieferungen zum Einsatz, wodurch der Lagerbestand fast auf null reduziert werden kann. Dadurch können Lagerkosten eingespart werden, jedoch können verzögerte Lieferungen schnell den Stillstand in der Produktion bedeuten.

<sup>41</sup> Vgl. Girmscheid (2008), S.71

<sup>42</sup> Vgl. Schubert, Vavrovsky (1996), S.311ff

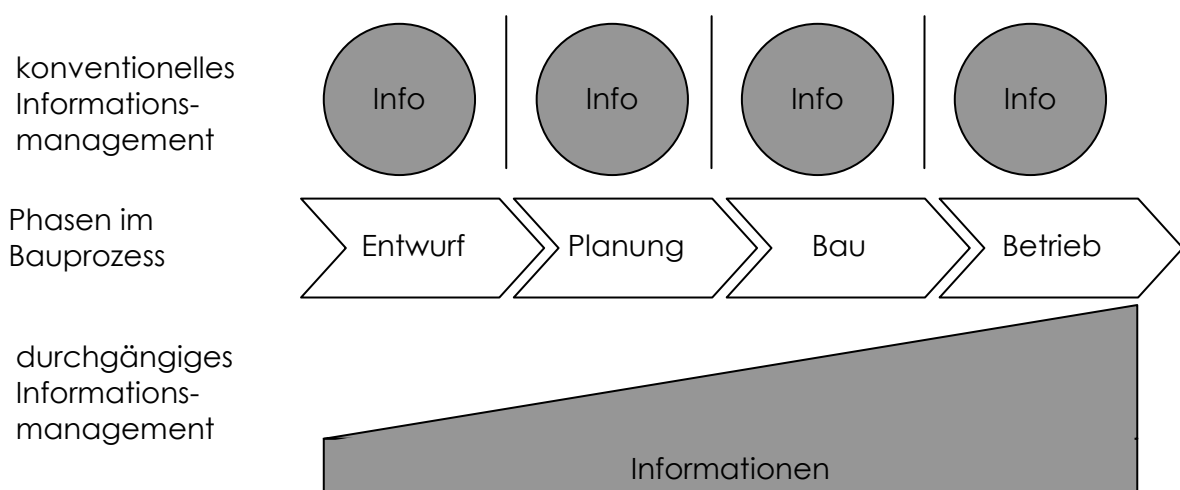
Gerade Baustellen sind sehr abhängig von solchen Materiallieferungen. Sollten also Planungsverfahren eingesetzt werden, so ist es wichtig, dass aufgrund der knapp berechneten Menge eine zuverlässige Belieferung sichergestellt ist.

## 4.2.2 Informationsmanagement und zentrale Datenverwaltung

Um eine schnittstellenfreie Kommunikation und keinen Informationsverlust über die verschiedenen Phasen der Baustelle zu gewährleisten, müssen zentrale Informationssysteme in Verbindung mit digitalen Datenerfassungssystemen eingesetzt werden.

Speziell bei der Durchführung einer kompletten Materialbedarfsplanung muss dem Planer bei der Bestimmung des Nettobedarfs der aktuelle Lagerbestand bekannt sein. Dies kann durch das Zusammenspiel auf den verschiedenen Ebenen leicht realisiert werden. Ankommende Materiallieferungen können direkt bei der Übernahme in ein Bestandsmanagementsystem eingetragen bzw. auch digital erfasst werden, während verbaute Materialien an Ort und Stelle des Verbrauchs davon wieder abgezogen werden können. Somit ist für den Planer der aktuelle Bestand ersichtlich und es kann der benötigte Bedarf bestellt werden.

Durch den Wechsel zwischen den Phasen der Baustelle kommt es oftmals zu einem Informationsverlust, der teilweise wieder erarbeitet werden muss. Auch die Verwendung von redundanten, unterschiedlichen oder nicht aktuellen Versionen von Daten kann zu Problemen während der Planung und Ausführung führen. Nachfolgende Grafik zeigt, wie eine durchgängige Informationsverfügbarkeit zu höheren Informationsgehalt führt.



**Abbildung 13: Informationsgewinn durch Informationsmanagement<sup>43</sup>**

<sup>43</sup> Vgl. Günthner, Bormann (2011), S.11

Durch eine zentrale Datenverwaltung kann hier schnell Abhilfe geschaffen werden. Somit können für die Durchführung relevante Dokumente zentral abgelegt werden und mithilfe von Zugangsberechtigungen nur bestimmten Personengruppen zugänglich gemacht werden. Damit werden mehrere Probleme auf einmal gelöst.

Durch die zentrale Speicherung kann eine redundante Datenhaltung vermieden und der Aufwand für die Pflege und Aktualisierung der Daten minimiert werden. Weiters können durch den zentralen Zugriff dieselben Daten von mehreren Arbeitsplätzen abgerufen werden. Somit müssen diese nicht mehr ausgedruckt oder verschickt werden, wodurch teilweise große Sicherheitslücken entstehen können. Mit der Anlage von Versionen können Änderungen sehr gut rückverfolgt werden, und außerdem steht allen immer die aktuellste Version zur Verfügung.

Dies erfordert zwar zu Beginn einen höheren Arbeitsaufwand, ist ein zentrales Datenverwaltungssystem jedoch richtig konfiguriert, erleichtert es die Arbeitsabläufe durch die engere Vernetzung unterschiedlicher Funktionen.

## 4.3 Geschäftsobjekte im Tunnelbau

Wie auch in der stationären Industrie gibt es im Tunnelbau Geschäftsobjekte, die den Prozess der Tunnelbaustelle unterstützen. Bei den meisten Materialplanungsverfahren in der stationären Industrie kommen Geschäftsobjekte zum Einsatz. Die Verfahren sind darauf abgestimmt und verwenden jeweils bestimmte Objekte (z.B.: Deterministische Verfahren verwenden Stücklisten). Um eine Überleitung und Anwendung der Verfahren auf den Tunnelbau zu ermöglichen, werden Analogien zwischen den Geschäftsobjekten im Tunnelbau und der stationären Industrie hergestellt. In diesem Kapitel werden die im Tunnelbau verwendeten Geschäftsobjekte untersucht und am Ende mit der stationären Industrie verglichen.

### 4.3.1 Vortriebsklassen

Die Vortriebsklassen teilen die Vortriebsarbeiten nach bautechnischen Maßnahmen, welche der Verrechnung des Ausbruches und der Ermittlung der Vortriebsdauer dienen.<sup>44</sup> Sie werden durch ein Planungsbüro vorgegeben und beinhalten vor allem die zu verwendenden Stützmittel für den Vortrieb und in welcher Menge je Laufmeter diese eingesetzt werden müssen.

---

<sup>44</sup> ÖNORM B2203-1, Ausgabe 2001-12-01, Seite 8

<b>VORTRIEBSKLASSE TUNNEL</b> 1.OZ / 2.OZ KALOTTE				min. Abschlagslänge:		
				max. Abschlagslänge:		
				Überprofil $U_p$ :		
				Übermaß $U_m$ :		
				Bewertungsfläche:		
				Linie 1a:		
Ausbruch Linie2:						
<b>Stützmittel und Zusatzmaßnahmen / Abschlag</b>				<b>Menge / lfm</b>	<b>Bew. Faktor</b>	<b>Teilzahl</b>
Anker						
Beustahlgitter	<b>Stützmittel</b>			<b>Menge</b>		<b>Berechnung</b> 2.OZ
Spritzbeton						
SUMME						
STÜTZMITTELZAHL						

**Abbildung 14: Beispiel Vortriebsklasse**

Abbildung 14 zeigt wie eine Vortriebsklasse aufgebaut ist. Im untern Bereich werden die Art und Menge der zu verbauenden Stützmittel aufgelistet. Die entsprechenden Mengen je Stützmittel werden in eine Menge je Laufmeter umgerechnet (siehe Tabelle 20). Dieser Wert wird über einen genormten Bewertungsfaktor in eine Teilzahl umgerechnet um daraus die 2. Ordnungszahl der Vortriebsklasse zu berechnen.<sup>45</sup>

### 4.3.2 Plandaten

Ebenfalls durch das Planungsbüro werden die Plandaten für den gesamten Tunnel erstellt. Es wird die vorherrschende Geologie am Standort der Tunnelbaustelle bestimmt und daraus über Simulationsverfahren in erster Linie die Anzahl an benötigten Stützmitteln errechnet, woraus sich die vorhin erwähnten Vortriebsklassen ergeben. Anschließend erfolgt mithilfe der Vortriebsklassen und der bekannten Geologie eine Aufteilung des Tunnelquerschnittes in geologische Homogenbereiche. Innerhalb eines geologischen Homogenbereiches wird angenommen, dass sich die Geologie des Gebirges nicht ändert und somit für diesen Bereich eine gleichmäßige Verteilung der Vortriebsklassen bestimmt. Somit erhält man eine erste Prognose entlang des geplanten Vortriebes, wo welche Stützmittel benötigt werden. Der Bauträger erhält jedoch nicht die genaue Aufteilung in die einzelnen geologischen Homogenbereiche, sondern nur eine über die gesamte Tunnellänge auftretende Gesamtverteilung der auftretenden Vortriebsklassen. In der Regel muss sich das Bauunternehmen eine eigene Verteilung der Stützmittel berechnen, besitzt jedoch den Vorteil, diese an vielleicht bekannte Besonderheiten anzupassen.

<sup>45</sup> Weiterführende Informationen zur Berechnung der 2.Ordnungszahl bietet: ÖNORM B2203-1, Ausgabe 2001-12-01, Seite 13 & 33

### 4.3.3 Leistungsverzeichnis

Das Leistungsverzeichnis ist die Grundlage des Bauauftrages und enthält eine exakte Beschreibung der Leistungsart und des Leistungsumfanges zerlegt in verschiedene Gruppen und Positionen. Im Leistungsverzeichnis wird das gesamte Bauwerk mit allen erforderlichen Zeiten, wie Personalstunden und Maschinestunden und verbauten Materialien und Stützmittel abgebildet. Es dient vor allem der korrekten Berechnung bei der Angebotsabgabe.<sup>46</sup>

### 4.3.4 Abschlag

Ein Abschlag ist ein in einem Zyklus geschaffener Teil des Hohlraums.<sup>47</sup> Also ein Durchlauf des in Kapitel 3.1 beschriebenen NATM Zyklus.

### 4.3.5 Abschlagsdaten

Während des Vortriebes im Rahmen des zyklischen Vortriebes nach NATM kommt es wie bereits weiter oben beschrieben nach der Sprengung und Ausführung des Materials zu Sicherung des Vortriebes. Die gesamten Daten eines solchen Abschlages wie Abschlagslänge, verbaute Materialien oder erreichte Vortriebsklasse sind in diesen Abschlagsdaten enthalten. Sie werden benötigt, um nachzuvollziehen, wie viel und welche Art von Stützmitteln jeweils verbaut worden ist. Die Menge an verbaulichem Material kann sich hier im Vergleich zu den Plandaten ändern.

### 4.3.6 Bauzeitplan

Ein Bauzeitplan enthält den zeitlichen Ablauf der auszuführenden Arbeiten.<sup>48</sup> Er kann in Form von Balkendiagrammen, Terminlisten, Weg-Zeit-Diagrammen oder in Netzplantechnik dargestellt werden. Für Linienbaustellen wie im Tunnel oder Straßenbau eignen sich besonders Weg-Zeit-Diagramme.<sup>49</sup>

---

<sup>46</sup> Vgl. Hofstadler (2007); S.71

<sup>47</sup> ÖNORM B2203-1, Ausgabe 2001-12-01, Seite 5

<sup>48</sup> vgl. Hofstadler (2007); S453

<sup>49</sup> vgl. Bauer (2007); S606ff

### 4.3.7 Vergleich mit Geschäftsobjekten der stationären Industrie

Zum Abschluss zeigt ein Vergleich die Analogien zwischen Tunnelbau und stationärer Industrie. Dadurch gelingt eine Überleitung der Verfahren mit den richtigen Geschäftsobjekten. Die in der stationären Industrie eingesetzten Geschäftsobjekte werden hier nicht im Detail beschrieben<sup>50</sup>.

		Tunnelbau					
		Abschlag	Vortriebsklassen	Plandaten	Leistungsverzeichnis	Abschlagsdaten	Bauzeitplan
Stationäre Industrie	Baukastenstückliste		X				
	Projektablaufplan						X
	Produktionsprogramm			X			
	Arbeitsgang	X					
	Verbräuche					X	
	Mengenübersichtstückliste				X		

Tabelle 10: Verknüpfung Tunnelbau und stationäre Industrie

## 4.4 Anwendbarkeit einzelner Planungsverfahren

In Kapitel 2 wurden bereits einige Verfahren, welche in der stationären Industrie eingesetzt werden, und deren Charakteristik beschrieben. Nun soll die Anwendbarkeit auf die im Tunnelbau vorliegenden Verhältnisse geprüft werden.

### 4.4.1 Anwendung heuristischer Verfahren

Heuristische Methoden, sprich subjektive Schätzungen, werden im Tunnelbau aktuell angewendet. Das dabei eingesetzte Verfahren ist die Schätzung durch Individualpersonen. Im Fall des Tunnelbaus wird der Bedarf an Stützmitteln durch den Polier vor Ort abgeschätzt und bestimmt. Dabei werden die aktuelle Geologie und Vortriebsgeschwindigkeit berücksichtigt. Dies liefert wie in Kapitel 3.3 beschrieben zwar gute

<sup>50</sup> Weiterführende Informationen zu Geschäftsobjekten der stationären Industrie bietet z.B.: Schönsleben (2004); S14ff

Ergebnisse, erfordert aber eine große Erfahrung, um die Umgebungsbedingungen richtig abschätzen zu können.

Probleme mit diesen Verfahren treten dann auf, wenn erfahrene Mitarbeiter aus dem Unternehmen ausscheiden und die Einarbeitung neuer Mitarbeiter nicht rechtzeitig erfolgt ist. Gerade im Tunnelbau haben wenige Personen diese Erfahrung. Dadurch, dass in den wenigsten Unternehmen versucht wird, dieses Wissen durch den gezielten Einsatz von Wissensmanagement im Unternehmen zu halten, muss sich ein neuer Mitarbeiter seine Erfahrung oftmals selbst erarbeiten.

Weiters werden durch den Einsatz von heuristischen Methoden oftmals Übermengen bestellt und gelagert, um ein Fehlen des Materials zu verhindern. Für Tunnelbaustellen, auf denen das Material direkt vor Ort gelagert wird, bedeutet das, dass größere Lagerflächen erstellt werden müssen. Erfolgt der Tunnelbau in einer ländlichen Gegend, können entsprechende benötigte Flächen für die Lagerung vorbereitet werden. Diese müssen allerdings nach Beendigung der Baustelle wieder revitalisiert werden. Im städtischen Tunnelbau können unnötige Übermengen aufgrund von Platzmangel zum Problem werden.

#### **4.4.2 Anwendung stochastischer Verfahren**

Die Anwendung stochastischer, also verbrauchsgesteuerter Verfahren ist im Tunnelbau grundsätzlich möglich. Durch die Aufzeichnung des Verbrauchs an Stützmitteln je Abschlag ist es möglich, entsprechende Verbrauchsverläufe zu charakterisieren und mithilfe des entsprechenden Verfahrens einen Prognosewert zu errechnen.

Die einzelnen Verfahren beruhen jedoch darauf, dass es einen charakteristischen Verbrauchsverlauf gibt. In der stationären Industrie liegen Verbrauchsdaten durch die jahrelange Produktion bereits in Massen vor. Im Tunnelbau werden mit der Beendigung einer Tunnelbaustelle auch immer die Verbrauchszahlen irrelevant für eine neue Baustelle. Da jede Baustelle eigene geologische Besonderheiten bzw. Bedingungen aufweist, muss meist auch bei den Verbrauchszahlen wieder von null begonnen werden.

Eine Verknüpfung von Verbrauchszahlen über verschiedene Projekte hinweg, sprich das Suchen gleicher Geologien und Ermitteln von Verbrauchszahlen, ist eine komplexe bzw. teilweise unmögliche Aufgabe, da es selten Geologien gibt, die genau gleich sind. Einzig ähnliche Verbrauchsmuster können aus der Vergangenheit ange-



wandt werden, wobei man hier eher im Bereich der Analogieschätzung und somit den heuristischen Verfahren angesiedelt ist.

Ist der Tunnelvortrieb jedoch schon weit fortgeschritten und liegen einige Abschlagsdaten vor, könnte eine verbrauchsgesteuerte Prognose Anwendung finden. Dies würde allerdings eine homogene Geologie durch den gesamten Vortrieb benötigen. Je mehr unterschiedliche Geologie- und Störungzonen während des Vortriebes auftreten, desto unanwendbarer werden verbrauchsgesteuerte Planungsverfahren.

### **4.4.3 Anwendung deterministischer Verfahren**

Für die Durchführung deterministischer Planungsverfahren ist, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, immer eine hinterlegte Erzeugnisstruktur notwendig. Bei einem Produkt ist die Erzeugnisstruktur durch die Stücklisten klar ersichtlich. Bei einem Tunnel, der wie schon des Öfteren erwähnt immer individuell ist, vermutet man vielleicht keine solche Struktur. Die Bauweise nach der NATM jedoch ermöglicht durch die Kombination von Vortriebsklassen und vorherrschender Geologie die Erstellung einer Art Erzeugnisstruktur und Produktionsprogramm.

Da für die entsprechende Geologie die Vortriebsklasse in einem bestimmten Umfang zur Anwendung kommt, kann durch die Auflösung der Vortriebsklassen in die enthaltenen Materialien der Bedarf genau bestimmt werden. Ändert sich der geologische Homogenbereich, so muss dieser für die Berechnung angepasst werden. Dies passiert allerdings auch in der stationären Industrie, wo sich die Primärbedarfe durch weitere Kundenbestellungen ändern. Auch hier müssen die weiteren Sekundärbedarfe angepasst werden.

Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass es den Bedarf ziemlich genau ausgeben kann, wenn die Geologie für die nächsten Vortriebsmeter gut bestimmt werden kann. Da die Vortriebsklassen für den jeweiligen Tunnel und die entsprechende Geologie vom Planer erstellt worden sind, müssten die zu verwendenden Stützmittel in diesen enthalten sein. Während des Vortriebes muss die Planung durch die Eingabe der aktuellen Geologie angepasst werden, um den Bedarf weiterhin genau vorhersagen zu können.

## 4.5 Umsetzung deterministisches Verfahren

Basierend auf den Verfahren der Gozintographenmethode (Kapitel 3.1.3) oder der Verwendung von Matrizen (Kapitel 3.1.4) werden nun Analogien für die Berechnung der Stützmittelbedarfe im Tunnelbau hergestellt. Dazu müssen die entsprechenden Begriffe gegenübergestellt bzw. verglichen werden.

### 4.5.1 Verknüpfung stationäre Industrie und Tunnelbau

Um das Verfahren besser erklären zu können, müssen die unterschiedlichen Begriffe im Tunnelbau und in der stationären Industrie gegenübergestellt werden. Somit ist das Verständnis, wie die einzelnen Elemente des Tunnelbaus in die Berechnung einfließen, besser gegeben.

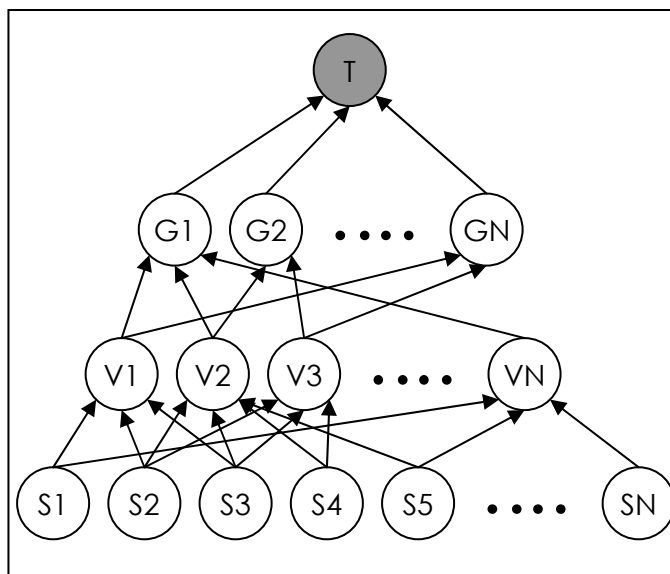
Symbol	Begriff aus Tunnelbau	Entspricht in stationärer Industrie	Bemerkung
T	Tunnelabschnitt	Endprodukt	
G1 - GN	Homogener Geologiebereich	Baugruppe	Kann nur in den Tunnelabschnitt eingehen.
V1 - VN	Vortriebsklasse	Baugruppe	Kann nur in homogene Geologiebereiche eingehen.
S1 - SN	Stützmittel	Einzelteil	Kann nur in Vortriebsklassen eingehen.

**Tabelle 11: Gegenüberstellung Tunnelbau und stationäre Industrie**

Eine weitere Besonderheit dieses Verfahrens ist, dass die homogenen Geologiebereiche in den zu betrachtenden Tunnelabschnitt prozentual einfließen und in Summe 1 ergeben müssen. Ist der zu betrachtende Tunnelabschnitt zum Beispiel 10 Meter lang und nach 6 Metern ändert sich der Geologiebereich, so besteht er zu 60 % (0,6) aus Geologiebereich 1 und zu 40 % (0,4) aus Geologiebereich 2. Dieselben Bedingungen sind beim Einfließen von Vortriebsklassen in Geologiebereichen zu beachten. Die einzelnen Stützmittel fließen dann aber in ihrer in der Vortriebsklasse vermerkten Menge in die Vortriebsklasse ein. Da in jeder Vortriebsklasse die Menge pro Stückmittel in Menge/lfm gegeben ist, erhält man am Ende die für das jeweilige Stützmittel richtige Einheit.

Ein Primärbedarf kann immer nur für den Tunnelabschnitt angegeben werden. Es kann also nicht vorkommen, dass ein Primärbedarf eines Geologiebereiches gefordert ist. Dies ergibt auch in der praktischen Durchführung keinen Sinn.

Aus diesen Voraussetzungen ergibt sich ein Gozintograph, der immer folgenden hierarchischen Aufbau als Grundform hat:



**Abbildung 15: Grundform Gozintograph für Tunnelbau**

Nach Aufstellen des Gozintographen kann die Berechnung wie bereits beschrieben gleich den stationären Verfahren berechnet werden.

## 4.5.2 Berechnungsbeispiele

Abschließend verdeutlicht ein Beispiel die Anwendung.

### Beispiel Gozintographenmethode

Für einen Tunnelabschnitt von 100 Metern sollen die Bedarfe an Stützmitteln ermittelt werden. Nach 43 Metern endet der erste homogene Geologiebereich und nach weiteren 37 Metern der zweite. In Geologiebereich 1 gehen die Vortriebsklassen V1 zu 20 %, V2 zu 63 % und V3 zu 17 % ein. In G2 gehen V2 zu 30 % und V4 zu 70 % und in G3 gehen V1 zu 13 %, V3 zu 48 % und V4 zu 39 % ein.

V1	
S1	8
S2	3
S3	14

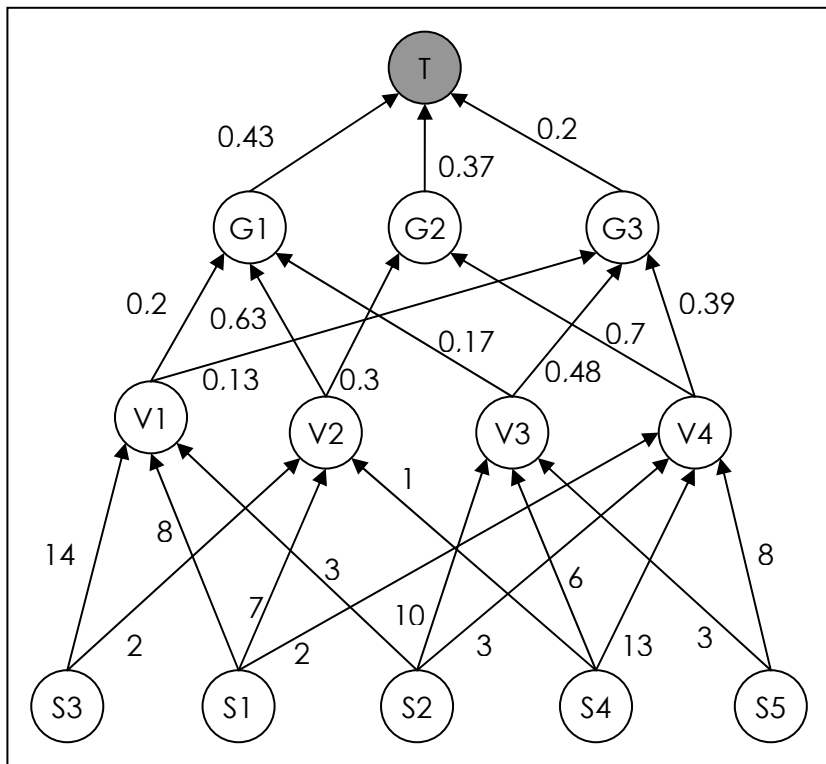
V2	
S1	7
S3	2
S4	1

V3	
S2	10
S4	6
S5	3

V4	
S1	2
S2	3
S4	13
S5	8

**Tabelle 12: Angaben zum Beispiel Tunnelbau**

Aus dieser Angabe ergibt sich folgender Gozintograph



**Abbildung 16: Beispiel Gozintograph Tunnelbau**

Die berechneten Werte für diesen Gozintographen nach der Vorgehensweise beschrieben in Kapitel 3.1.3:

Produkt	Primärbedarf	Sekundärbedarf	Gesamtbedarf	Einfließend	Menge	Partieller Sekundärbedarf	Summe Partieller Sekundärbedarf
j	$y_j$	$s_j$	$x_j = y_j + s_j$	$j'$	$a_{jj'}$	$s_{j'}(j) = a_{jj'} * x_j$	$\sum_j s_{j'}(j)$
T	100	0	<b>100</b>	G1	0,43	43	43
				G2	0,37	37	37
				G3	0,2	20	20
G1	0	43	<b>43</b>	V1	0,2	8,6	11,2
				V2	0,63	27,09	38,19
				V3	0,17	7,31	16,91
G2	0	37	<b>37</b>	V2	0,3	11,1	33,7
				V4	0,7	25,9	
G3	0	20	<b>20</b>	V1	0,13	2,6	
				V3	0,48	9,6	
				V4	0,39	7,8	
V1	0	11,2	<b>11,2</b>	S1	8	89,6	423,33
				S2	3	33,6	303,8
				S3	14	156,8	233,18
V2	0	38,19	<b>38,19</b>	S1	7	267,33	577,75
				S3	2	76,38	
				S4	1	38,19	
V3	0	16,91	<b>16,91</b>	S2	10	169,1	320,33
				S4	6	101,46	
				S5	3	50,73	
V4	0	33,7	<b>33,7</b>	S1	2	67,4	
				S2	3	101,1	
				S4	13	438,1	
				S5	8	269,6	
S1	0	423,33	<b>423,33</b>				
S2	0	303,8	<b>303,8</b>				
S3	0	233,18	<b>233,18</b>				
S4	0	577,75	<b>577,75</b>				
S5	0	320,33	<b>320,33</b>				

Tabelle 13: Berechnung Gozintograph Tunnelbau

### Beispiel Verwendung von Matrizen

Die Berechnung der Bedarfe mithilfe von Matrizen (Kapitel 3.1.4) sieht wie folgt aus:

	T	G1	G2	G3	V1	V2	V3	V4	S1	S2	S3	S4	S5
T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G1	0,43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G2	0,37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G3	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V1	0	0,2	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V2	0	0,63	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V3	0	0,17	0	0,48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V4	0	0	0,7	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S1	0	0	0	0	8	7	0	2	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	3	0	10	3	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	14	2	0	0	0	0	0	0	0
S4	0	0	0	0	0	1	6	13	0	0	0	0	0
S5	0	0	0	0	0	0	3	8	0	0	0	0	0

**Tabelle 14: Direktbedarfsmatrix Tunnelbau**

Rechnet man jetzt unser Beispiel nach diesem Schema durch, erhält man für die einzelnen Matrizen folgende Werte:

Technologiematrix:

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,43	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,37	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-0,2	0	-0,13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-0,63	-0,3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-0,17	0	-0,48	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-0,7	-0,39	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-8	-7	0	-2	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-3	0	-10	-3	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	-14	-2	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	-1	-6	-13	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	-3	-8	0	0	0	0	1	0

Gesamtbedarfsmatrix:

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,43	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,37	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,20	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,11	0,2	0	0,13	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0,38	0,63	0,30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0,17	0,17	0	0,48	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0,34	0	0,70	0,39	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4,24	6,01	3,50	1,82	8	7	0	2	1	0	0	0	0
3,04	2,30	2,10	6,36	3	0	10	3	0	1	0	0	0
2,33	4,06	0,60	1,82	14	2	0	0	0	0	1	0	0
5,78	1,65	9,40	7,95	0	1	6	13	0	0	0	1	0
3,20	0,51	5,60	4,56	0	0	3	8	0	0	0	0	1

Gesamtbedarfsvektor:

100	<i>T</i>
43	<i>G1</i>
37	<i>G2</i>
20	<i>G3</i>
11,1	<i>V1</i>
38	<i>V2</i>
17	<i>V3</i>
34	<i>V4</i>
424	<i>S1</i>
304	<i>S2</i>
233	<i>S3</i>
578	<i>S4</i>
320	<i>S5</i>

## 4.6 Vorgehensweise bei der Planung

Die Basis für die Materialbedarfsplanung im Tunnelbau beginnt eigentlich schon während der Entwicklungs- und Planungsphase des Tunnels. In dieser wird durch das Planungsbüro die vorherrschende Geologie am Standort der Baustelle bestimmt. Über verschiedene Simulationsverfahren werden aus dieser die benötigten Stützmittel errechnet und daraus die benötigten Vortriebsklassen erstellt.

Weiters erstellt das Planungsbüro mit der prognostizierten Geologie und der erstellten Vortriebsklassen eine Einteilung des Vortriebes in homogene Geologiebereiche, in denen Vortriebsklassen mit einer bestimmten Verteilung auftreten können. Die genaue Aufteilung des Vortriebes in homogene Geologiebereiche wird jedoch nicht an den zukünftigen Bauträger weitergereicht. Jedoch erhält er im Rahmen der Ausschreibung eine zusammengefasste Aufttrittswahrscheinlichkeit der einzelnen Vortriebsklassen über den gesamten Vortrieb.

Ist die Planung abgeschlossen, wird das Projekt ausgeschrieben. In der Ausschreibung müssen die erstellten Vortriebsklassen inkl. Verteilung, Gebirgsarten, Termine und etliches mehr angegeben werden. Welche Angaben in der Ausschreibung genau enthalten sein müssen, ist in einer Norm geregelt.<sup>51</sup>

Die anbietende Baufirma erstellt für das Angebot ein Leistungsverzeichnis, in dem alle zu erbringenden Leistungen während des Vortriebes enthalten sind. Der Bieter kann ebenfalls die Geologie bestimmen und seine Ausschreibung entsprechend anpassen, sollte er einen anderen Geologieverlauf vermuten. Auf Basis des Leistungsverzeichnisses ergibt sich der jeweilige Angebotspreis.

Weiters werden auch benötigte Zeiten zu den einzelnen Vortriebsklassen angegeben und daraus ein Netzplan erstellt. Wichtige Termine wie Tunnelanschlag, Durchbruch sowie Fertigstellen der Innenschale werden als Meilensteine ebenfalls angegeben.

Während der Bauphase kann der entsprechende Materialbedarf für die wirklich vorherrschende Geologie bestimmt werden. Hierzu muss der Bauträger einen homogenen Geologiebereich für die nächsten Vortriebsmeter bestimmen und die entsprechende Verteilung der Vortriebsklassen zuordnen. Wird diese Geologiebestimmung regelmäßig eingetragen, kann auf Änderungen oder Störzonen in der Geologie reagiert werden. Aus dieser bestimmten Vortriebsklassenverteilung ergeben sich die Materialmengen, die im weiteren Verlauf des Vortriebs benötigt werden.

Durch einen Abgleich der Plandaten mit den Abschlagsdaten kann festgestellt werden, wie exakt und wie hoch die Abweichung die Planung des Stützmittelbedarfs war.

---

<sup>51</sup> ÖNORM B2203-1, Ausgabe 2001-12-01, Seite 9ff



## 5 Entwicklung eines computerunterstützten Planungstools

Aus den bisher gewonnenen Erkenntnissen soll nun eine entsprechende computer-gestützte Lösung zur Materialbedarfsplanung erstellt werden, welche in späterer Folge auch als Basis für eine schnittstellenfreie Gesamtlösung herangezogen werden kann.

### 5.1 Ausgangssituation

Die Umsetzung des Softwaretools erfolgte in Zusammenarbeit des Lehrstuhls Industrie-logistik und Subsurface Engineering mit den Unternehmen ASFINAG und PORR. Durch die beiden Praxispartner wurden die benötigten Daten für die Umsetzung der Entwicklung des Softwaretools zur Verfügung gestellt. Als „Datenspender“ wurde der Südvortrieb der Weströhre des Tunnel Götschka an der S 10 – Mühlviertler Schnellstraße ausgewählt.



Abbildung 17: Tunnelportal Götschka Süd<sup>52</sup>

<sup>52</sup> <http://www.meinbezirk.at/freistadt/chronik/tunnelportal-goetschka-sued-m1392345,198964.html>, abgerufen am 16.1.2013 um 16:20

**Projektbeschreibung**<sup>53</sup>

Auftraggeber: ASFINAG Bau Management GmbH

Tätigkeit: Ausschreibungsplanung, Bauausschreibung, Ausführungsplanung

Gesamtkosten: Tunnelrohbau ca. € 130 Mio.

Technische Daten: Zweiröhriger Schnellstraßentunnel mit Längslüftung und Brandrauchabsaugung.

Oströhre 3-spurig, Länge: 4432,5 m

Weströhre 2-spurig, Länge 4454,0 m

Zeitraum ab Sommer 2008

Beschreibung: Die ASFINAG BMG plant im Mühlviertel/OÖ zur Entlastung der bestehenden B 310 die Errichtung einer Schnellstraße, die von Unterweikersdorf (Anschluss an die A 7) bis an die tschechische Grenze bei Wulowitz geführt wird. Kernstück dieses Abschnitts ist der zweiröhrige Tunnel „Götschka“ mit einer Gesamtlänge von rund 4,4 km.

Der Tunnel Götschka weist für jede Fahrtrichtung jeweils eine Röhre auf, wobei die Richtungsfahrbahn Linz zweistreifig (2 x 3,50 m, Weströhre) und die Richtungsfahrbahn Prag dreistreifig (3 x 3,50 m, Oströhre) projektiert ist. Die beiden Röhren sind durch insgesamt 17 Querschläge (davon sind 4 Querschläge für die Befahrbarkeit von Einsatzfahrzeugen ausgelegt) verbunden. Bei jeder Röhre sind 4 Pannenbuchten vorgesehen.

Die Länge des bergmännisch aufzufahrenden Tunnels beträgt 4.392 m (Weströhre) bzw. 4.370 m (Oströhre), die maximale Überlagerung beträgt rund 110 m.

---

<sup>53</sup> [http://www.laabmayr.at/de/referenzen/strassentunnel/01\\_31\\_S10\\_Tunnel\\_Goetschka.php](http://www.laabmayr.at/de/referenzen/strassentunnel/01_31_S10_Tunnel_Goetschka.php), abgerufen am 16.1.2013 um 16:00

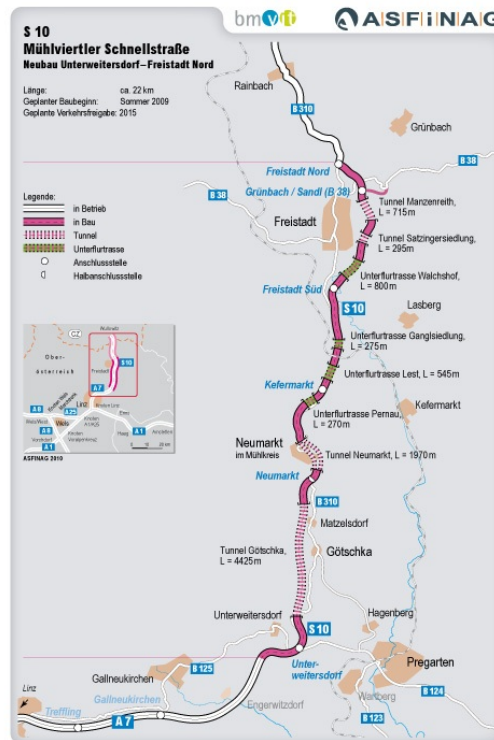


Abbildung 18: Streckenkarte<sup>54</sup>

## 5.2 Datenbasis

Als Ausgangspunkt für die benötigten Auswertungen stehen verschiedene Datenquellen zur Verfügung, welche auf ihre Verwendbarkeit überprüft werden müssen. Durch die eingehende Analyse ergaben sich vier große Datenquellen für die weitere Verwendung. Die folgenden Datenquellen wurden ausgewählt:

- Vortriebsklassen
- Leistungsverzeichnis
- Plandaten
- Abschlagsdaten

Nach anfänglichen Überlegungen, die Berechnungen und Auswertungen in einer Tabellenkalkulation durchzuführen, wurde jedoch relativ schnell festgestellt, dass für ein ganzheitliches Tool, welches später erweiterbar sein soll, eine Datenbank mit aufgesetzten Eingabemasken die bessere Variante ist. Letztendlich wurde sich auf die Datenbankanwendung MS Access verständigt, welche neben der Datenspeicherung auch die Möglichkeit bietet, spezielle Eingabemasken zu definieren.

<sup>54</sup> [http://www.asfinag.at/c/document\\_library/get\\_file?uuid=8e14f19f-1eb1-4e19-9db2-6bb5103104ac&groupId=10136](http://www.asfinag.at/c/document_library/get_file?uuid=8e14f19f-1eb1-4e19-9db2-6bb5103104ac&groupId=10136), abgerufen am 16.1.2013 um 16:35

## 5.3 Aufbau

Nachdem die Datenbasis festgelegt war, wurde versucht, die Zusammenhänge der einzelnen und auch aus unterschiedlichen Quellen stammenden Daten zu erstellen. Die erhaltenen Daten lagen in Form von Excel-Tabellen oder CAD-Plänen bzw. deren PDF Plots vor und mussten für eine weitere Verwendung in einer Datenbank erstmals aufbereitet werden. Dabei stellte sich schnell heraus, dass zwar Zusammenhänge erkennbar sind, jedoch die Verarbeitung der Daten für ein allgemein gültiges Tool nicht ganz trivial sein würde.

### 5.3.1 Probleme, Anforderungen und Lösungen

Bei der Analyse der Daten kamen schnell einige Probleme auf, welche in der Endfassung des Tools berücksichtigt werden mussten.

#### **Allgemeine Gültigkeit**

Von Beginn der Entwicklung war klar, dass das Endergebnis ein soweit wie möglich allgemein einsetzbares Tool werden soll. Durch diese allgemein gehaltene Verwendung musste eine Struktur zur Identifizierung der einzelnen Bereiche angelegt werden. Während die Identifizierung der einzelnen Bauprojekte weniger Schwierigkeiten bereitet und durch die Einführung einer Projektverwaltung abgedeckt werden konnte, verursachten tunnelspezifische Gegebenheiten einen höheren Aufwand.

Die Tatsache, dass ein Tunnel nicht nur in eine Richtung vorgetrieben wird, sondern in vielen Fällen von den beiden Endseiten bzw. in einigen Fällen auch mit Zwischenvortrieben entlang der Tunnelstrecke, musste eingearbeitet werden. Die reine Abbildung und Verknüpfung der einzelnen Vortriebe in der Datenbank ist wie die Projektabbildung eher problemlos gelöst worden. Durch die Einbindung der Vortriebe zu den Abschlagsdaten können für jeden einzelnen Vortrieb Abschlagsdaten eingegeben werden.

Für die Auswertungen mithilfe des Materialverlaufes entlang des Tunnels mussten allerdings mehr Überlegungen angestellt werden. Aus den Plandaten erhält man mithilfe der Vortriebsklassenverteilung zwar die benötigten Materialien über die gesamte Tunnellänge, allerdings verläuft diese Planung nur von einer Seite über den gesamten Tunnel. Somit werden hier die einzelnen Vortriebe nicht berücksichtigt. Für die Bestimmung des Materialbedarfes auf Basis der Plandaten muss jedoch genau bestimmt werden, wo im Tunnel welcher Vortrieb gerade steht. Somit müssen die Plan-

daten entsprechende den Vortrieben unterteilt werden, um die richtigen Bedarfe für jeden Vortrieb zu berechnen.

### Stützmittelverwaltung

Eine weitere Aufgabe ergab sich automatisch durch die Durchsicht der erhaltenen Daten. Die verwendeten Namen für die Stützmittel waren in den vier als Datenbasis ausgewählten Quellen jeweils unterschiedlich benannt. Im Grunde verwiesen sie aber immer auf das gleiche Stützmittel. Dieses Problem kommt dadurch zustande, da die einzelnen Daten von unterschiedlichen Personen bearbeitet werden und es keine einheitliche Richtlinie zum Benennen der einzelnen Stützmittel gibt.

Um dieses Problem zu umgehen, wurde eine einheitliche Stützmittelverwaltung in die Datenbank integriert. Dadurch werden über alle Projekte hinweg immer die gleichen Stützmittel verwendet, mit einer einheitlichen Bezeichnung in allen Datenquellen. Weiters können die einzelnen Stützmittel mit weiteren Eigenschaften versehen werden, um die Eingaben und Berechnungen im weiteren Verlauf zu vereinfachen. Auch wurde versucht, die Stützmittel zu kategorisieren und Gemeinsamkeiten zwischen den verwendeten Stützmitteln zu erreichen. In der folgenden Tabelle werden die erkannten Kategorien mit den Eigenschaften dargestellt.

Typ	Eigenschaft	EigenschaftEinheit
Anker	Länge	m
Baustahlgitter	Abdeckung	% (1=100 %)
Bögen	Abdeckung	% (1=100 %)
Ortsbrust_Anker	Länge	m
Ortsbrust_Baustahlgitter	Abdeckung	% (1=100 %)
Ortsbrust_Spritzbeton	Stärke	m
Spieße	Länge	m
Spritzbeton	Stärke	m
Verpressungen	Abdeckung	% (1=100 %)

**Tabelle 15: Eigenschaften Stützmittel**

### Einheiten

Als weitere Unstimmigkeit zwischen den Datenquellen wurden die unterschiedlich verwendeten Einheiten festgestellt. So werden zum Beispiel in den Vortriebsklassen, normbedingt, alle Anker auf Meter pro Laufmeter umgerechnet. Im Leistungsverzeichnis bzw. auch in den Abschlagsdaten werden Anker in Stück eingetragen. In der folgenden Tabelle werden die Unterschiede zwischen den einzelnen Quellen dargestellt.

Typ	EinheitVKL	EinheitLV	EinheitEingabe
Anker	m	St	St
Baustahlgitter	m <sup>2</sup>	t	kg
Bögen	m	m	m
Ortsbrust_Anker	m	St	St
Ortsbrust_Baustahlgitter	m <sup>2</sup>	t	kg
Ortsbrust_Spritzbeton	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Spieße	m	St	St
Spritzbeton	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Verpressungen	kg	t	kg

**Tabelle 16: Unterschiedliche Einheiten**

Um die einzelnen Datenquellen in den Auswertungen miteinander zu vergleichen bzw. um Berechnungen durchzuführen und die Daten optimal darzustellen müssen die Einheiten vereinheitlicht und umgerechnet werden. Die Frage war nun welche Einheiten sollten für die entsprechenden Typen verwendet werden. Nach einiger Analyse wurde beschlossen, die Einheiten auf die im Leistungsverzeichnis verwendeten umzurechnen. Die meisten Umrechnungen sind einfach mit der Umrechnung durch die eingegebenen Eigenschaften möglich. Einzig für die Umrechnung der Baustahlgitter und Ortsbrust\_Baustahlgitter von Quadratmeter auf Tonnen musste eine Umrechnungstabelle verwendet werden.

Type	kg / m <sup>2</sup>
A50	1,90
A60	2,73
A70	3,64
A76	4,30
A82	5,02
AQ38	1,78
AQ42	2,18
AQ50	3,08
AQ55	3,74
AQ60	4,44
AQ65	5,20
AQ70	6,04
AQ76	7,12
AQ82	8,30
AQ90	9,98
AQ100	12,34

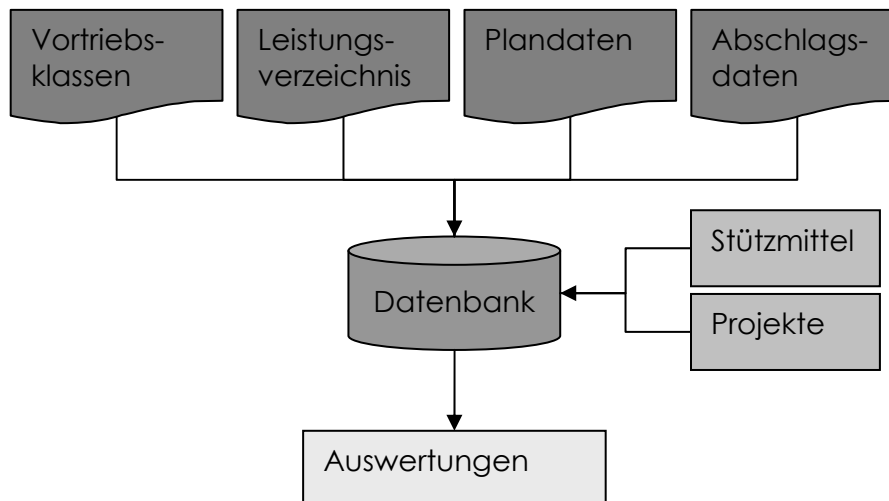
**Tabelle 17: Umrechnung Baustahlgitter Ö-Norm B4200-7, Tafel 1, Gruppe M 550<sup>55</sup>**

Nach der Umrechnung sind die einzelnen Datenquellen miteinander vergleichbar und Auswertungen können durchgeführt werden.

<sup>55</sup> [http://www.weylend.at/fileadmin/weylend/PDFs/WPL\\_Schlaufe\\_AQ\\_Maerz\\_2007.pdf](http://www.weylend.at/fileadmin/weylend/PDFs/WPL_Schlaufe_AQ_Maerz_2007.pdf), abgerufen am 21.1.2013 um 9:55

### 5.3.2 Datenbankmodell

Auf Basis der erhaltenen Daten und den gestellten Anforderungen wurde ein entsprechendes Datenbankmodell erstellt. Eingangs soll folgende Abbildung nochmals schematisch aufzeigen, welche Ausgangssituation zu Projektstart vorgefunden wurde.



**Abbildung 19: Schematische Darstellung der Datenbank**

Aus dieser schematischen Zusammenführung der Daten ist im nächsten Schritt ein Datenbankmodell entwickelt worden, welches auch den hierarchischen Aufbau der einzelnen Daten berücksichtigt.

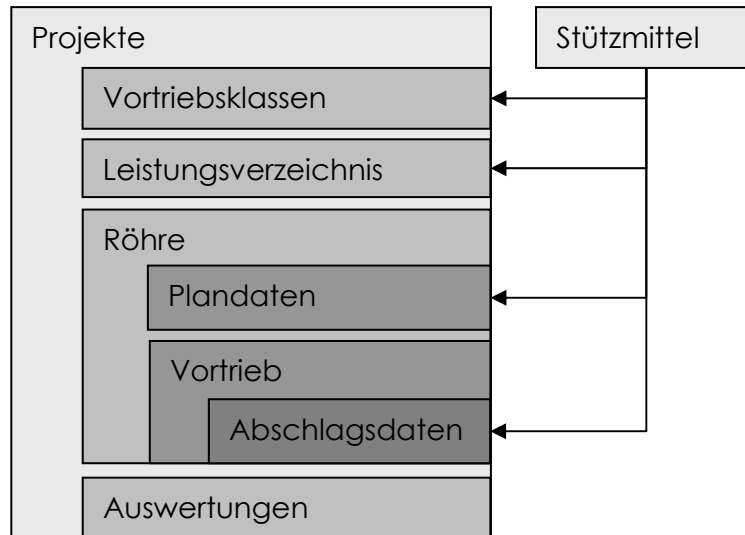
Als oberste Ebene wurde ein Projekt festgelegt, in welchem alle relevanten Daten eingetragen und Auswertungen durchgeführt werden können. Parallel dazu wird die bereits angesprochene Stützmittelverwaltung angelegt, deren Datensätze in den verschiedenen Ebenen der Projekte verwendet werden können. Unterhalb der Stützmittelverwaltung gibt es keine weiteren Elemente.

Das Leistungsverzeichnis und die Vortriebsklassen als Eingabedaten und die Auswertungen beziehen sich direkt auf das jeweilige Projekt und stehen somit gleich unterhalb der Projektebene. Weiters wird auf dieser Ebene auch der Begriff der Tunnelröhre eingeführt, um eine Zuordnung der Abschlagsdaten zu mehreren Röhren treffen zu können.

Für eine Röhre können jeweils Plandaten angelegt werden, die den Verlauf der Geologie beinhalten, und auch verschiedene Vortriebe, zu denen dann entsprechende Abschlagsdaten gespeichert werden können. Die Abschlagsdaten bilden innerhalb der Programmhierarchie die unterste Ebene und werden daher als letzte Daten ein-

gegeben, nachdem bereits Vortriebsklassen, Leistungsverzeichnis und Plandaten eingegeben worden sind.

Folgende Grafik soll die gerade beschriebene Struktur nochmals grafisch darstellen:



**Abbildung 20: Hierarchischer Aufbau Planungstool**

Die einzelnen Verbindungen zwischen den Tabellen einzeln aufzuzählen, würde an dieser Stelle zu sehr ins Detail gehen. Trotzdem soll ein kurzer Überblick über die Struktur der Datenbank in der nächsten Grafik zeigen, dass hinter diesen einfachen Überlegungen und dem Aufbau eine durchaus komplexe Struktur mit einer Vielzahl an Tabellen und Beziehungen steht.





Abbildung 21: Datenbankmodell

## 5.4 Eingaben

Die Eingabe von Werten in das Softwaretool sollte so einfach wie möglich gestaltet werden und wenig Zeit in Anspruch nehmen. Durch diese Prämisse sollte gewährleistet werden, dass das Softwaretool auch auf der Baustelle einsatzfähig ist und verwendet wird. Aufgrund der Entscheidung, das Tool auf eine Access-Datenbank zu basieren, bietet sich die Möglichkeit, die Eingabe über die integrierten Formulare zu realisieren. In den einzelnen Formularen sind nur die vorgegebenen Felder auszufüllen, wobei einige Felder bereits durch berechnete Werte vorgegeben werden.

### 5.4.1 Startbildschirm

Beim Öffnen des Tools erscheint sofort der Startbildschirm des Tools. Hier kann über eine Auswahlliste das zu bearbeitende Projekt ausgewählt und geöffnet werden, wodurch man zum Hauptbildschirm gelangt. Weiters kann hier ein neues Projekt angelegt und die Stützmittelverwaltung geöffnet werden.

### 5.4.2 Projekt anlegen

Die Maske für die Anlage eines Projekts ist vor jeder weiteren Aktion auszuführen. Hier wird ein Bauprojekt als Projekt definiert. Als Eingabewerte stehen Werte zur allgemeinen Projektbeschreibung, welche keinen Einfluss, und Eingaben, die sehr wohl Einfluss auf die Berechnungen und Auswertungen haben.

Um ein Projekt beschreiben zu können, müssen ein Titel und ein Anlagedatum eingegeben werden. Beide Felder können mit Freitext ausgefüllt werden, wobei das Feld für das Datum eine bestimmte Formatierung benötigt und als Vorschlag das aktuelle Datum vorgibt.

Anschließend müssen die Anzahl der Tunnelröhren und jeweils pro Röhre die Vortriebe eingegeben werden. Diese Eingaben sind für die weiteren Eingaben von Abschlagsdaten und Auswertungen wichtig und müssen daher sehr genau eingegeben werden. Außerdem muss bei jedem Vortrieb der Start- und Endpunkt bezogen auf die Gesamttunnelstrecke eingegeben werden um eine genaue Zuordnung der benötigten Materialien zu den Vortrieben zu treffen.

**Abbildung 22: Eingabemaske Projekt anlegen**

Im Weiteren wird kurz die Eingabe von Röhren und Vortriebe für ein Tunnelprojekt erläutert. Der zu planende Tunnel hat eine Röhre mit der Länge von 5000 Metern. Die Planungsrichtung beginnt im Norden bei 0m und endet im Süden mit 5000 Metern.

**Eingabebeispiel mit zwei Endvortrieben**

Röhre	Vortrieb	Von	Bis
Weströhre	Nord	0	2500
Weströhre	Süd	5000	2500

**Tabelle 18: Eingabebeispiel mit zwei Endvortrieben**

**Eingabebeispiel mit zwei Endvortrieben und Zwischenangriffen**

Röhre	Vortrieb	Von	Bis
Weströhre	Nord	0	1500
Weströhre	Süd	5000	4000
Weströhre	Zwischen1	2500	1500
Weströhre	Zwischen2	2500	4000

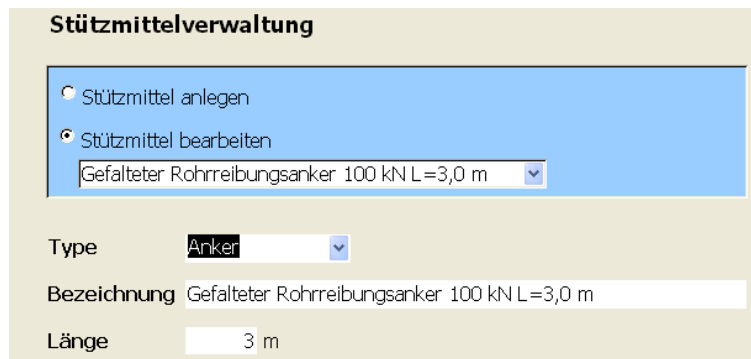
**Tabelle 19: Eingabebeispiel mit zwei Endvortrieben und Zwischenangriffen**

Mithilfe dieser Angaben können die Plandaten den einzelnen Vortrieben zugeordnet werden.

**5.4.3 Stützmittelverwaltung**

In der Stützmittelverwaltung können die benötigten Stützmittel eingetragen und bearbeitet werden. Für eine weitere Verwendung ist es wichtig, dass hier alle benötigten Stützmittel eingetragen sind, denn im Projekt können sie nicht direkt geändert werden. Alle hier eingetragenen Stützmittel werden im gesamten Softwaretool über alle Projekte verwendet. Somit ist auch gewährleistet, dass innerhalb eines Projektes immer die gleiche Benennung für dasselbe Stützmittel verwendet wird.

Um ein Stützmittel zu definieren, sind die Auswahl eines Typs sowie die Eingabe eines Namens und einer dazugehörigen Eigenschaft notwendig. Durch die Auswahl eines Typs werden automatisch die entsprechende Eigenschaft und deren Einheit angezeigt. Die entsprechende Zuordnung zwischen Typ und Eigenschaft findet sich in Tabelle 15 wieder.



**Abbildung 23: Stützmittelverwaltung**

In der gleichen Maske können auch die vorhandenen Stützmittel bearbeitet werden. Durch Auswahl des entsprechenden Stützmittels wird der gewählte Datensatz angezeigt und kann bearbeitet werden. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass sich eine Änderung eines Stützmittels auf alle gespeicherten Projekte auswirkt.

#### 5.4.4 Hauptbildschirm

Am Hauptbildschirm wird die zu Beginn angegebene Projektbeschreibung angezeigt, womit man feststellen kann, ob man das richtige Projekt ausgewählt hat. Außerdem können die Formulare für die Eingaben und Auswertungen über die entsprechenden Buttons geöffnet werden. Zu Beginn gibt es Beschränkungen, so dass nur die Formulare angewählt werden können, für welche bereits Daten eingegeben werden können bzw. für Auswertungen, wenn alle Daten vorhanden sind.

#### 5.4.5 Vortriebsklassen

Im Formular zur Eingabe der Vortriebsklassen werden alle relevanten Werte der einzelnen Vortriebsklassen eingegeben. Wichtig ist, den Vortriebsklassen einen eindeutigen Namen zu geben, um sie später auch ansprechen zu können. Folgt man der Reihenfolge der Eingabefelder, so werden einige durch berechnete Werte gefüllt. Im Fall, dass diese Werte nicht korrekt sind, können sie durch den User geändert werden. Die wichtigen Felder für weitere Berechnungen sind die Eingabe der Vortriebsge-

schwindigkeit und der verwendeten Stützmittel mit entsprechender Menge pro Laufmeter.

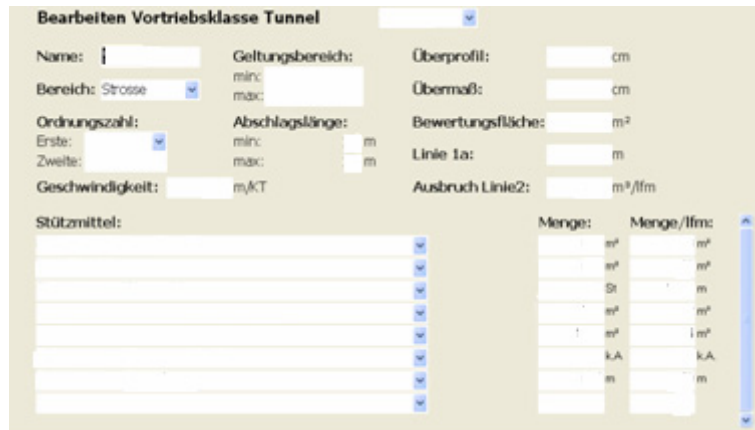


Abbildung 24: Eingabemaske Vortriebsklasse

Bei der Eingabe der Materialien werden für die schnellere Eingabe viele Werte nach erkannten Gesetzmäßigkeiten vorgegeben. Auch hier können die vorgegebenen Werte durch den User überschrieben werden.

Typ	Menge	Menge/Lfm
Anker	-	Eigenschaft * Menge / MaxAbschlaglänge
Baustahlgitter	Linie1A	Eigenschaft * Menge
Bögen	Linie1A	Eigenschaft * Menge / MaxAbschlaglänge
Ortsbrust_Anker	-	Eigenschaft * Menge / MaxAbschlaglänge
Ortsbrust_Baustahlgitter	AusbruchLinie2	Eigenschaft * Menge
Ortsbrust_Spritzbeton	AusbruchLinie2	Eigenschaft * Menge / MaxAbschlaglänge
Spieße	-	Eigenschaft * Menge / MaxAbschlaglänge
Spritzbeton	Linie1A	Eigenschaft * Menge
Verpressungen	-	Eigenschaft * Menge / MaxAbschlaglänge

Tabelle 20: Gesetzmäßigkeiten Mengenermittlung


### 5.4.6 Leistungsverzeichnis

Im Eingabeformular für das Leistungsverzeichnis werden alle Stützmittel und Baumaterialien eingetragen, welche im Bauvertrag unter Leistungsverzeichnis angegeben wurden. Wichtig zu erwähnen ist hierbei, dass die eingegebenen Daten zwar editiert und angepasst werden können, dies aber keinen Einfluss auf die im Bauvertrag vereinbarten Mengen hat. Die Eingaben werden einzig im Rahmen des Softwaretools verwendet und nur für Auswertungen herangezogen.

### 5.4.7 Plandaten

Die Eingabe der Plandaten ist so gestaltet, dass für jede zuvor eingegebene Röhre verschiedene Bereiche definiert werden können, in denen eine Vortriebsklassenver-

teilung festgelegt werden kann. Die Plandaten sollen jeweils über die gesamte Tunnellänge eingegeben werden. Nach Auswahl der entsprechenden Tunnelröhre wird das Feld für den Beginn des Abschnittes vorgegeben. Dieses Feld kann, sollte aber nicht, durch den User geändert werden, da ansonsten eine „Lücke“ in den Eingabewerten entsteht. Nach der Eingabe des Bereichendes wird die Länge automatisch berechnet.



**Plandaten eingeben**

Röhre: Oströhre ▼

VKL: ▼ Verteilung: ▼ 0 m

von: 0

bis:

Länge:

**Abbildung 25: Plandaten Eingabe**

Die Eingabe der Vortriebsklassenverteilung erfolgt durch Auswahl der entsprechenden Vortriebsklasse und Eingabe der Länge dieser in dem Bereich. Die Bearbeitung der Plandaten funktioniert nach dem gleichen Vorgehen. Hier können während des Vortriebs die geplanten Daten an die vorgefundenen Verhältnisse angepasst werden.

Nach Speicherung der eingegebenen Daten müssen die Berechnungen für die Auswertungen durch Bestätigung am Hauptbildschirm durchgeführt werden.

## 5.4.8 Abschlagsdaten

Die Daten für die während des Vortriebs durchgeführten Abschlüge werden in das dafür vorgesehene Formular zur Eingabe der Abschlagsdaten eingetragen. Nach Auswahl des benötigten Vortriebs werden bereits die ersten berechneten Felder angezeigt. So werden die Nummer und der Beginn des nächsten Abschlages bereits vorgegeben, wobei der Beginn durch den User beim ersten Eintrag überschrieben werden kann. Nach Eingabe einiger abschlagsrelevanter Daten werden die verbauten Mengen eingegeben. Es muss der entsprechende Stützmitteltyp ausgewählt werden und die verbaute Menge eingetragen werden. In welcher Einheit die Eingabe der Menge zu tätigen ist, hängt vom ausgewählten Stützmitteltyp ab (siehe Tabelle 16).

**Abbildung 26: Eingabebeispiel Abschlagsdaten**

Die Bearbeitung der einzelnen Abschläge funktioniert nach dem gleichen Prinzip. Es muss zuerst ein Abschlag ausgewählt werden, um diesen zu bearbeiten. Das Bearbeiten ist primär dazu da, um Fehler bei der Eingabe von Mengen auszubessern, nicht um den Beginn bzw. das Ende des Abschlages zu verschieben.

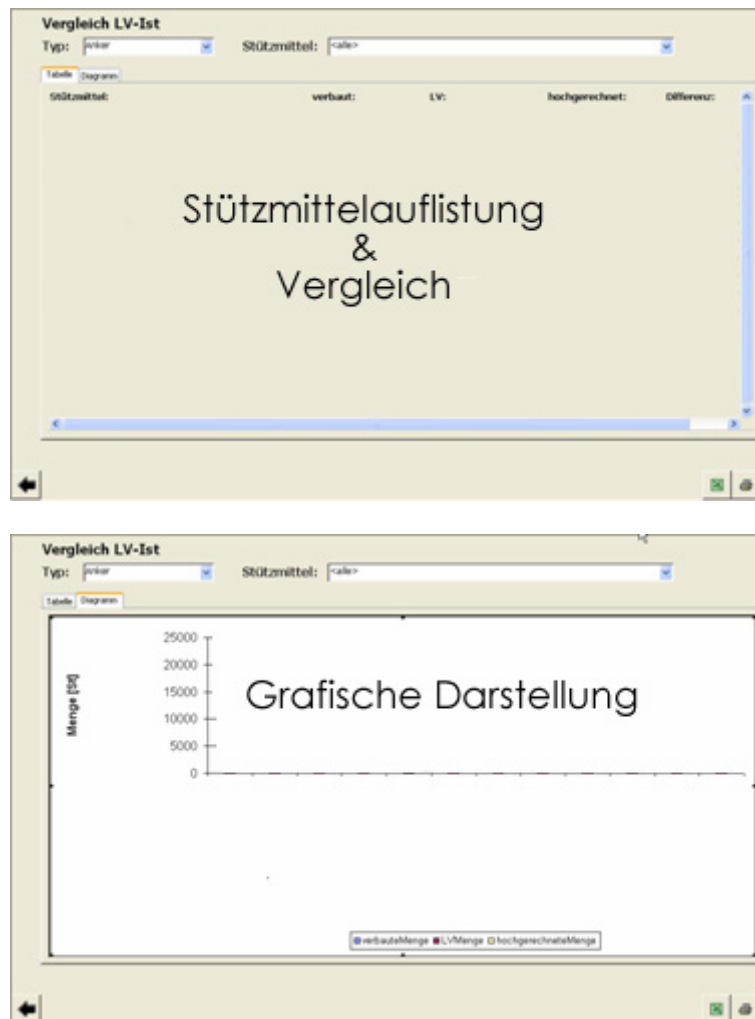
Wie auch schon bei der Eingabe der Plandaten, müssen nach Eingabe der Abschlagsdaten die Berechnungen für die Auswertungen durch Bestätigung am Hauptbildschirm durchgeführt werden.

## 5.5 Auswertungen und Berechnungen

Nach den Eingaben der einzelnen Daten kann mit der Auswertung dieser begonnen werden. Um diese durchzuführen, wurden bereits im Hintergrund die Daten so aufbereitet, dass sie entsprechend angezeigt werden können. In dieser ersten Version gibt es vorläufig drei verschiedene Auswertemöglichkeiten.

### 5.5.1 Vergleich Leistungsverzeichnis mit Abschlagsdaten

Mithilfe dieser Auswertung werden die aktuell verbauten Stützmittel mit den im Leistungsverzeichnis angegebenen und entsprechenden hochgerechneten Mengen, die als möglicher Gesamtbedarf des Stützmittels angesehen werden kann, abgeglichen. Die Anzeige der Auswertung kann nach Stützmitteltyp oder auch nach einem speziellen Stützmittel gefiltert werden. Außerdem gibt es, neben der Listenansicht, zur besseren Visualisierung auch eine grafische Diagrammansicht, die den aktuellen Stand anschaulich darstellt.



**Abbildung 27: Vergleich Leistungsverzeichnis mit Abschlagsdaten**

Um die Daten in anderen Programmen weiter verwenden zu können, gibt es die Möglichkeit, die Daten auf den installierten Druckern zu drucken oder einen Export der Daten als Excel-Datei zu erstellen. Somit kann, falls es gewünscht ist, mit den Daten in anderen Programmen weitergearbeitet werden.

### 5.5.2 Bedarfsvorschau

Bei der Bedarfsvorschau werden auf Basis der eingegebenen Plandaten die Mengen für den ausgewählten nächsten Bauabschnitt angezeigt. Hier kommt es darauf an, wie genau die Plandaten eingegeben bzw. aktualisiert wurden, denn je genauer die Plandaten, desto genauer die Materialbedarfe. Diese werden über die Auflösung der Vortriebsklassen und den darin hinterlegten Stützmittelmengen ermittelt. Nach Auswahl des entsprechenden Vortriebes können die Materialien für den nächsten Bauabschnitt ausgewählt werden. Zur Auswahl stehen verschiedene vorgegebene Längen und Zeitangaben.



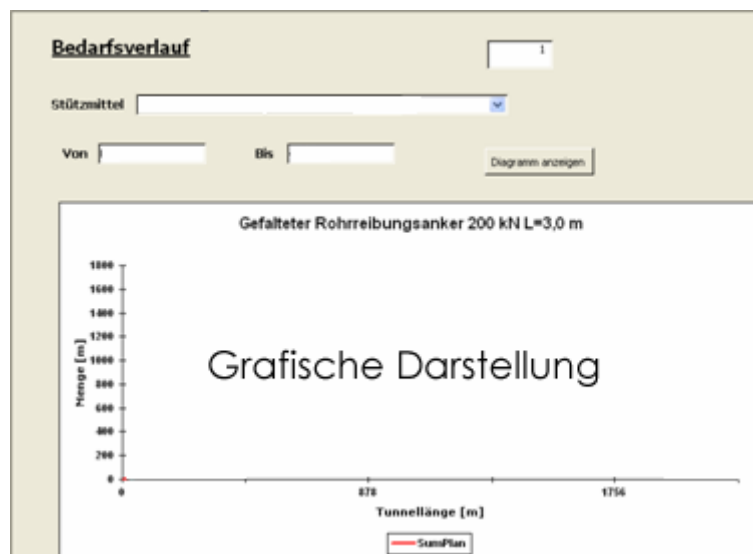
Meterangaben	Zeitangaben
10 Meter	1 Arbeitswoche $\triangleq$ 5 Tage
20 Meter	1 Woche $\triangleq$ 7 Tage
50 Meter	14 Tage
70 Meter	1 Monat $\triangleq$ 30 Tage
100 Meter	

**Tabelle 21: Auswahlmöglichkeiten Bedarfsvorschau**

Auch hier gibt es wieder die Möglichkeit, die Ergebnisse als Excel-Datei zu exportieren bzw. auch einen Ausdruck auf den installierten Druckern zu erstellen.

### 5.5.3 Bedarfsverlauf

Mit der Auswertemöglichkeit des Bedarfsverlaufs kann die Entwicklung der benötigten Stützmittel über die gesamte Vortriebslänge angezeigt werden. Dies wird durch ein Linien-Diagramm realisiert, indem der Verlauf grafisch dargestellt wird. Die bereits verbauten Stützmittel werden bis zum aktuellen Stand des Tunnelvortriebes grafisch dargestellt und anschließend durch eine Hochrechnung auf Basis der Plandaten weitergeführt.



**Abbildung 28: Bedarfsverlauf**

So ist am Ende des Vortriebes ersichtlich, ob mehr oder weniger als die geplante Menge an Stützmitteln verbaut werden wird. Die Gründe darin können in einer Verschlechterung / Verbesserung der Geologie während des Vortriebes sein. Liegen die verbaute Menge und die Plandatenmenge eng zusammen, kann auch der Materialbedarf genau bestimmt werden.

## 5.6 Potential für Weiterentwicklung

Da das hier vorgestellte Planungstool ein erster Schritt in Richtung schnittstellenfreie Gesamtlösung ist, kann in einem nächsten Schritt der Funktionsumfang des Tools erweitert werden. Hierbei kann die Erweiterung, abgestimmt mit den Bauunternehmen, in die verschiedensten Richtungen vorangetrieben werden. Als kleinen Ausblick werden nachfolgend mögliche Erweiterungsstufen aufgelistet.

### **Verbindung mit SQL-Server**

Durch die Verbindung des bestehenden Access-Tools mit einem SQL-Server, auf dem die gleiche Datenbankstruktur läuft, kann eine zentrale Verwaltung der Daten sichergestellt werden. Zusätzlich dazu kann das bestehende Tool als Offline-Version verwendet werden. Dadurch ist ein Einsatz im freien Feld auf Tablet oder Laptop möglich, und bei der Verbindung mit dem Netzwerk können neue Daten in die zentrale Datenbank übertragen werden.

### **Bestandsmanagement**

Durch die Einführung eines Bestandsmanagements kann eine automatische Materialinventur durchgeführt werden. Es können die aktuelle Anlieferung eingetragen und Verbräuche ausgebucht werden. Weiters ist durch das Anfügen einer Materialverwaltung auch die Nettobedarfsbestimmung für die einzelnen Materialien möglich. Die Auswertung von Bestandskennzahlen kann weitere Informationen für die Baustellenbetreiber liefern.

### **Lieferantenmanagement**

Fügt man Lieferanten für die einzelnen Materialien an, kann der geplante Bedarf an den richtigen Lieferanten adressiert werden und die benötigten Mengen bestellt bzw. abgerufen werden. Weiters können Statistiken zu den einzelnen Lieferanten wie pünktliche Lieferung und weitere Auswertungen logistischer Kennzahlen im Bereich des Lieferantenmanagements durchgeführt werden.

## 5.7 Verwendbarkeit & Ergebnisse

Um das Softwaretool zu testen, wurde ein Testlauf des Tools und vor allem des Kernstücks, der Prognose des Materialbedarfs, unter realen Bedingungen direkt vor Ort auf der Baustelle durchgeführt. Dabei wurden folgende Punkte untersucht und überprüft:

- Ermittlung der Prognosemengen für relevante Stützmittel für unterschiedliche Zeiträume unter Einbeziehung diverser der ausführenden Firma zugrunde liegender Informationen (Tunnelbautechnischer Rahmenplan, Expertenwissen, Bauleitung, Ist-Verbrauch, Plandaten, ...)
- Vergleich der ermittelten Prognosemengen mit dem tatsächlichen Verbrauch in den untersuchten Zeiträumen und Beurteilung dieser.
- Gegenüberstellung mit auf der Baustelle eingesetzten Tools.
- Eingabe des laufenden Verbrauchs eines Kalendertages der Baustelle für sämtliche Vortriebe. Dokumentation des Arbeitsaufwands für das Baustellenpersonal.

### 5.7.1 Ermittlung und Vergleich der Prognosemengen

Für die Ermittlung der Prognosemengen nach dem vorgestellten Modell wurden unterschiedliche Ausgangsquellen herangezogen und miteinander verglichen. Um die Prognosewerte besser einordnen zu können, wird der Verbrauch in einen beliebigen, bereits aufgefahrenen Bereich des Tunnels als Referenz angenommen. Der Vergleich wurde für den relevanten Stützmitteltyp SN Mörtelanker 250kN mit 4 Meter Länge durchgeführt.

Der erste Vergleich erfolgte mit der vom Planer für diesen Bereich vorgesehenen Geologie und Vortriebsklassenverteilung. Obwohl dem Bauunternehmen diese Einteilung nicht vorliegt, kann durch diese Prognose festgestellt werden, wie gut die Geologie vom Planer eingeschätzt wurde bzw. ob die Verwendung der Vortriebsklassen für die Prognose sinnvoll erscheint. In der Auswertung ist ersichtlich, dass in diesem Fall die festgelegten Vortriebsklassen sehr weit vom realen Verbrauch entfernt liegen. Es zeigte sich, dass die gepalnten Vortriebsklassen während der Bauphase selten zur Anwendung kommen, sondern als Orientierung für die Angebotsbestimmung und als Grundlage für die Verrechnung dienen.

Bessere Ergebnisse wurden mit den nächsten Varianten erreicht. Während eines Abschlages ergibt sich, durch den Einbau der jeweiligen Stützmittel, immer eine Vortriebsklasse. Somit erhält man eine Vortriebsklassenverteilung über den bereits aufgefahrenen Tunnelbereich und kann diese für die nächsten Vortriebsmeter als Prognose

severteilung einsetzen. Verglichen wurden Verteilungen über verschiedene Längen des aufgefahrenen Tunnels. Vorteil dieser Methode ist, dass Vortriebsklassen angenommen werden, welche auch tatsächlich auftreten. Außerdem können extrapolierte Vortriebsklassen, welche speziell für den Vortrieb erstellt werden, in die Verteilung einfließen. Nachteilig zu erwähnen ist der Schwankungsbereich einer Vortriebsklasse, der durch Berechnung der 2. Ordnungszahl zustande kommt.<sup>56</sup> So können andere Stützmittel verbaut werden, die Vortriebsklasse jedoch gleich bleiben.

Weiters wurde versucht, eine Prognose aufgrund der Kombination von Plandatenverteilung und bestehender Verteilung zu treffen. Da das Bauunternehmen die Gesamtverteilung der Vortriebsklassen über den gesamten Tunnel erhält, können die am häufigsten auftretenden Vortriebsklassen der Planung mit den bereits vorliegenden Vortriebsklassen kombiniert und ein Prognose erstellt werden. Auch hier besteht das Problem, dass die tatsächlich eingebauten Stützmittel von der Auflistung in den Vortriebsklassen abweichen.

Abschließend wurde der Verbrauch noch mithilfe einer im vorherigen Bereich auftretenden Ausbaufestlegung prognostiziert. Eine Ausbaufestlegung ist aufgebaut wie eine Vortriebsklasse und enthält einzubauende Stützmittel mit dem Unterschied, dass diese Stützmittel auf den nächsten Metern tatsächlich eingebaut werden. Somit trifft in diesem Fall die Prognose auch auf den tatsächlichen Verbrauch zu. Immer nach einem Abschlag wird bestimmt, ob sich die aktuelle Ausbaufestlegung ändert oder beibehalten wird. Da dem Bauunternehmen die Geologie entlang des Vortriebes relativ gut bekannt ist, kann durch die Verknüpfung der Ausbaufestlegung mit der Geologie eine Prognose für die Bedarfsentwicklung getroffen werden.

Die Ergebnisse des Vergleichs des Materialverbrauchs werden in Abbildung 29 grafisch dargestellt. Weiters werden in Tabelle 22 die tatsächlich eingebaute mit der prognostizierten Menge verglichen.

---

<sup>56</sup> ÖNORM B2203-1, Ausgabe 2001-12-01, Seite 33

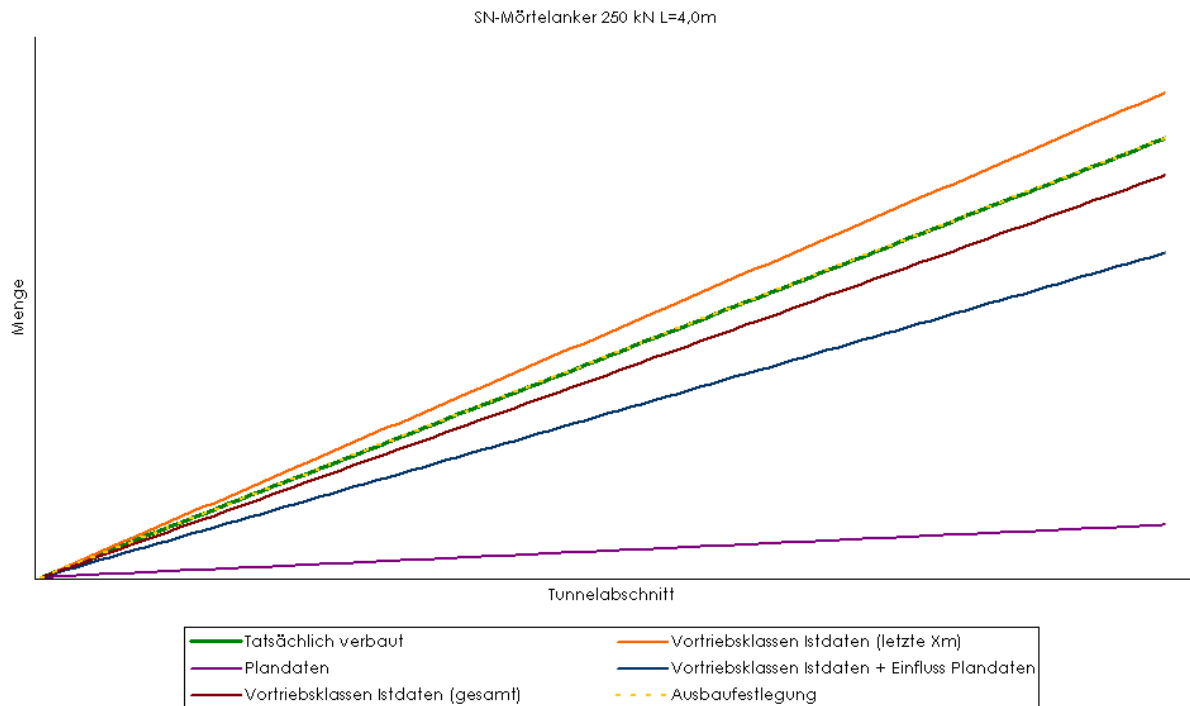


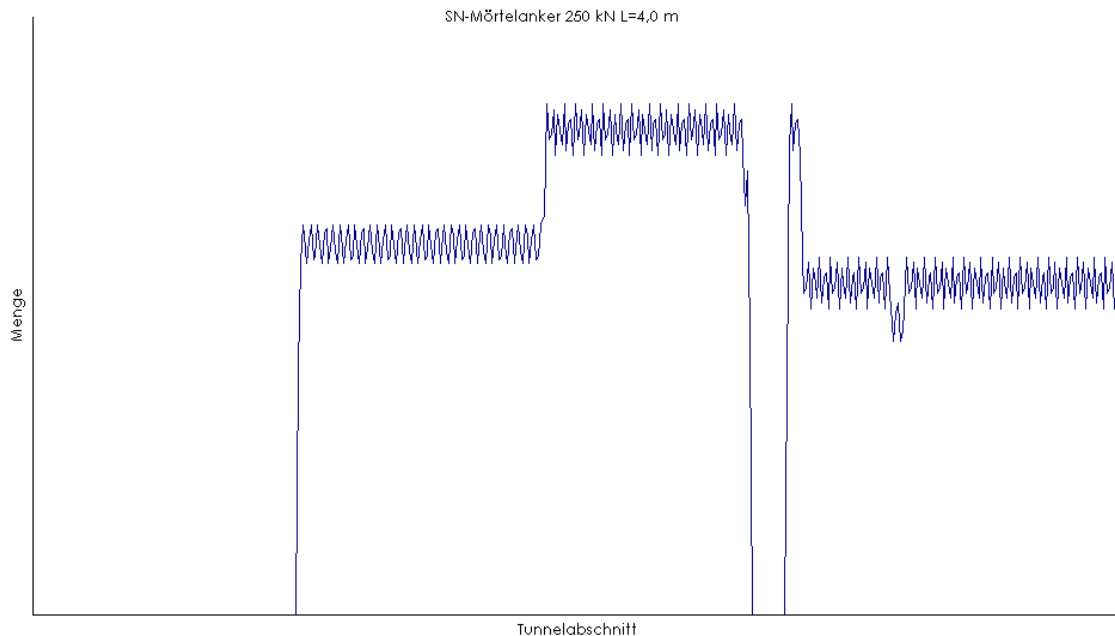
Abbildung 29: Vergleich kumulierter Materialverbrauch

Quelle:	Tatsächlich verbaut	VKL Istdaten (letzte Xm)	VKL Istdaten (gesamt)	Plandaten	VKL Istdaten (letzte Xm) + Einfluss Plandaten	Ausbaufestlegung
Menge:	490,76	540,96	448,73	58,89	362,03	490

Tabelle 22: Vergleich Mengen

Anhand der Ergebnisse in Tabelle 22 kann man erkennen, dass die Plandaten in diesem Fall für eine Prognose nicht geeignet sind. Auf der anderen Seite liefern die Prognosen mit den während des Ausbaues verwendeten Vortriebsklassen ein – mit einer Abweichung von  $\pm 10\%$  für dieses Stützmittel – relativ gutes Ergebnis, welches jedoch durch die Schwankung bei anderen Stützmitteln nicht so gut ausfällt. Einzig die Prognose mithilfe der Ausbaufestlegung liefert ein genaues Ergebnis, da die darin enthaltenen Stützmittel auch tatsächlich verbaut werden. Verknüpft man diese mit den erwarteten geologischen Homogenbereichen, so können exaktere Prognosen für den Materialverbrauch getroffen werden.

Im Zuge der Anwendung des deterministischen Prognoseverfahrens wurde versucht eine Bedarfsprognose auf Basis des tatsächlichen Verbrauchs treffen. Dazu wurde für das gleiche Stützmittel der Verbrauchsverlauf dargestellt und untersucht.



**Abbildung 30: Verbrauchsverlauf Stützmittel**

Aus Abbildung 30 ist klar ersichtlich, dass sich der Verbrauch in bestimmten Bereichen konstant verhält, gesamt betrachtet aber als unregelmäßig einzustufen ist. Nur durch die Besonderheit des ausgewählten Tunnels mit großen Homogenbereichen entstehen diese langen konstanten Bereiche. Sind vermehrt Verwerfungs- und Störungszonen vorhanden, verhält sich der Materialverbrauch durch den Wechsel zwischen den Stützmitteln noch unregelmäßiger. Die relativ klar ersichtliche Konstanz und damit auch schnelle Vorhersagbarkeit des Materialbedarfs ist dann nicht mehr gegeben. Somit kann eine direkte verbrauchsbezogene Prognose ausgeschlossen werden.

## 5.7.2 Gegenüberstellung mit eingesetzten Tools

Neben den Vergleich verschiedener Prognosewerte sollten auch bereits eingesetzte Tools und deren Funktionsumfang betrachtet werden. Im täglichen Betrieb kommen mehrere Systeme parallel für unterschiedliche Bereiche zum Einsatz. Dabei deckt die Erfassung der benötigten Daten einen großen Bereich der Softwarelösungen ab.

Aufgezeichnet werden vor allem Daten der einzelnen Abschlüsse, definierte Ausbaufestlegungen und Schichtprotokolle, welche zur Weiterverarbeitung benötigt wer-

den. Es können noch eine Vielzahl an weiteren Daten, welche sich durch die starke Spezialisierung der jeweiligen Programme auf den Tunnelbau ergeben, erfasst werden. Für die Untersuchung im Rahmen dieser Diplomarbeit sind diese aber eher sekundär.

Die erfassten Daten werden, je nach Spezialisierung der Softwarelösung weiterverarbeitet. Das reicht von der Unterstützung des Bedieners, wie zum Beispiel automatische Berechnung von Vortriebsklassen, bis zur automatischen Erstellung diverser Berichte und Auswertungen. Als Beispiel kann hier eine Auflistung der Verbräuche für einen bestimmten Tunnelabschnitt oder Zeitabschnitt angegeben werden. Auch die Ausgabe eines Tunnelbandes, bei dem für jeden Meter angezeigt wird welche Menge an Stützmaterial verbaut wird ist möglich.

In einem weiteren Programm wird die Abrechnung der Tunnelbaustelle und eine Prognose der Endabrechnung über das Leistungsverzeichnis durchgeführt. Die Erstellung eines Bauzeitplans und somit die zeitliche Verfolgung des Projektstatus wird ebenfalls über eine eigene Softwarelösung durchgeführt.

Die Dateneingabe in die entsprechenden Programme wird nicht immer zeitnahe durchgeführt. Dies ist bis jetzt nicht notwendig, da keines der Programme operativ eingesetzt wird. Zum Teil werden nicht alle verfügbaren Tools eingesetzt, da Aufwand teilweise sehr hoch ist.

Die Prognose des Materialbedarfs ist jedoch in keinem der eingesetzten Programme vorgesehen obwohl alle benötigten Daten eingegeben werden. Eine operative Ableitung der Daten wie Vortriebsklassen, Ausbaufestlegung und Abschlagsdaten ist nicht möglich. Da die für die Prognose benötigten Daten aber in jedem Fall eingegeben werden, kann durch die Erweiterung mithilfe eines zusätzlichen Prognose Moduls der Wert der eingegebenen Daten noch gesteigert werden. Abzuklären bleibt ob sich ein Prognosemodul integrieren oder Daten in geeigneter Form exportieren lassen. Sollte die Implementierung eines Prognosemoduls weiterverfolgt werden, muss die Datenbasis laufend auf aktuellem Stand gehalten werden.

### **5.7.3 Dateneingabe**

Die Überprüfung des Aufwandes der Dateneingabe in das selbst erstellte Tool und dessen Dokumentation wurden aufgrund Redundanz der Dateneingabe mit den bereits eingesetzten Tools nicht genauer untersucht.

## 6 Zusammenfassung

Die Aufgabe dieser Diplomarbeit ist es, eine Untersuchung der in der stationären Industrie eingesetzten unterschiedlichen Verfahren zur Materialbedarfsbestimmung durchzuführen. Weiters sollte aus dieser Untersuchung eine mögliche Überleitung passender Verfahren für den Tunnelbau nach der NATM geprüft werden.

Ziel war es sein, ein Verfahren zu entwickeln, welches nach standardisiertem Vorgehen eine Materialbedarfsprognose abgeben kann. Außerdem wurde eine programmtechnische Umsetzung realisiert werden, um einen Schritt in Richtung schnittstellenfreie Gesamtlösung zu setzen.

Um dies zu realisieren, mussten zuerst gängige Verfahren zur Materialbedarfsplanung auf ihre Einsatzbereiche und Verwendbarkeit untersucht werden. Wobei es mit deterministischen, stochastischen und heuristischen Verfahren drei große Bereiche der Materialbedarfsplanung gibt.

Parallel dazu wurden von den unterstützenden Unternehmen die benötigten Daten zur Verfügung gestellt, welche mit den in der stationären Industrie verfügbaren Daten abgeglichen werden mussten. Dabei stellte sich heraus, dass der Tunnelvortrieb nach der NATM mit der Vortriebsklasse bzw. dem Vortriebsklassenplan ein Geschäftsobjekt besitzt, welches ähnlich aufgebaut ist wie die in der stationären Industrie eingesetzte Stückliste.

Aufgrund dieser Gemeinsamkeit wurde ein deterministisches Verfahren adaptiert, welches durch Auflösung der Materialien in den Vortriebsklassen für die vorherrschende Geologie den Bedarf an Stützmitteln ausgibt. Die programmtechnische Umsetzung erfolgte in einer Datenbankanwendung, welche sowohl sämtliche Dateneingaben als auch die Bestimmung des Materialbedarfs und weitere Auswertungen beinhaltet.

Nach der Erstellung des Berechnungsmodells und der Umsetzung in einem Softwaretool wurde die Anwendbarkeit durch einen Einsatz auf der Tunnelbaustelle im realen Betrieb überprüft. Dabei wurden auch verschiedene Szenarien für die Datenausgangsbasis miteinander verglichen und die Richtigkeit der jeweiligen Prognose mit überprüft. Im Rahmen des Praxiseinsatzes wurde auch eine Problematik betrachtet, welche bei vielen neuen oder zusätzlichen Softwaretools gegeben ist. Dadurch, dass bereits verschiedene Programme eingesetzt werden, in die Daten eingegeben wer-



den, verursacht eine erneute Eingabe erhöhten Aufwand und führt zu Datenredundanzen.

Zusammenfassend kann folgender Schluss aus dieser Diplomarbeit gezogen werden: Die vorgeschlagene Prognose des Materialbedarfs basierend auf den vom Planer vorgegebenen Vortriebsklassen ist in jedem Fall zu hinterfragen. Der Vergleich zeigt, dass die Plandaten ein von der Realität abweichendes Ergebnis liefern. Dies liegt allerdings häufig daran, dass die tatsächlich existierende Geologie nur abgeschätzt und nicht genau bestimmt werden kann.

Die Verknüpfung der während der Bauphase erstellten Ausbaufestlegungen mit der Einteilung der Geologie in Homogenbereiche liefert die besten Ergebnisse und bietet daher Raum für weitere Untersuchungen. Durch die Änderung der Datenbasis von den Vortriebsklassen auf Ausbaufestlegungen kann das erarbeitete Verfahren trotzdem eingesetzt werden, da der Aufbau von Ausbaufestlegung und Vortriebsklasse ähnlich sind.

Die Verwendung des Tools als solches würde sich lohnen, wenn die benötigten Daten nicht händisch eingegeben werden müssen, sondern aus bereits bestehenden Datenquellen importiert werden können. Als Ideal würde sich eine Integration in bestehende Softwaretools als zusätzliches Modul erweisen, um schnittstellenfrei auf bereits vorhandene Daten zugreifen zu können.

Als nächsten Schritt in Richtung schnittstellenfreie Gesamtlösung und in der Materialbedarfsplanung ist es wichtig, den Nettobedarf, welcher für die Bestellung relevant ist, bestimmen zu können. Hierfür muss ein Bestandsmanagement der Stützmittel auf der Baustelle implementiert werden.

## Literaturverzeichnis

Bauer H. (2007): Baubetrieb (3., vollständig neu bearbeitete Auflage)  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg  
ISBN: 978-3-540-32113-2

Günthner W., Borrmann A. (2011): Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg  
ISBN: 978-3-642-16485-9

Günther H.O., Tempelmeier H. (2012): Produktion und Logistik (9., aktualisierte und erweiterte Auflage)  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg  
ISBN: 978-3-642-25164-1

Hofstadler C. (2007): Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg  
ISBN: 978-3-540-34320-2

Hüttner M., Heuer K.R. (2004): Betriebswirtschaftslehre (3. Auflage)  
Oldenbourg Wissenschaftsverlag  
ISBN: 3-486-27603-4

Kopsidis R.M. (1997): Materialwirtschaft (3., überarbeitete Auflage)  
Carl Hanser Verlag  
ISBN: 3-446-19163-1

Mabert V.A. (2007): The early road to material requirements planning in Journal of Operations Management volume 25 issue 2  
Elsevier GmbH

ÖNORM B2203-1, Ausgabe 2001-12-01

Schawel C., Billing F. (2012): Top 100 Management Tools – Das wichtigste Buch eines Managers Von ABC-Analyse bis Zielvereinbarung (4., überarbeitete Auflage)  
Gabler Verlag  
ISBN: 978-3-8349-4104-6

Schneeweiß C. (2002): Einführung in die Produktionswirtschaft (8., verbesserte und erweiterte Auflage)  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg  
ISBN: 3-540-65581-6

Schneider H, Buzacott J.A.; Rücker T. (2005): Operative Produktionsplanung und -steuerung  
Oldenbourg Wissenschaftsverlag  
ISBN: 3-486-57691-7

Schönsleben P. (2004): Integrales Logistikmanagement – Planung und Steuerung der umfassenden Supply Chain (4., überarbeitete und erweiterte Auflage)

Springer-Verlag Berlin Heidelberg  
ISBN: 978-3-540-21177-8

Schubert W., Vavrovsky G.M. (1996): Die Neue Österreichische Tunnelbaumethode in ÖIAZ - Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 141  
Österreichischer Ingenieur- und Architekten-Verein

Schulte G. (2001): Material- und Logistikmanagement (2.,wesentlich erweiterte und verbesserte Auflage)  
Oldenbourg Wissenschaftsverlag  
ISBN: 3-486-25458-8

Seeck S. (2010): Erfolgsfaktor Logistik – Klassische Fehler erkennen und vermeiden (1. Auflage)  
Gabler Verlag  
ISBN: 978-3-8349-1975-5

URL:  
[http://help.sap.com/saphelp\\_em70/helpdata/de/47/f253e19eb84ac5e10000000a42189d/content.htm](http://help.sap.com/saphelp_em70/helpdata/de/47/f253e19eb84ac5e10000000a42189d/content.htm)  
abgerufen am 4.2.2013 um 14:37

URL: [http://www.asfinag.at/c/document\\_library/get\\_file?uuid=8e14f19f-1eb1-4e19-9db2-6bb5103104ac&groupId=10136](http://www.asfinag.at/c/document_library/get_file?uuid=8e14f19f-1eb1-4e19-9db2-6bb5103104ac&groupId=10136)  
abgerufen am 16.1.2013 um 16:35

URL: [http://www.geodz.com/deu/d/Neue\\_%C3%96sterreichische\\_Tunnelbauweise](http://www.geodz.com/deu/d/Neue_%C3%96sterreichische_Tunnelbauweise)  
abgerufen am 8.2.2013 um 11:05

URL:  
[http://www.laabmayr.at/de/referenzen/strassentunnel/01\\_31\\_S10\\_Tunnel\\_Goetschka.php](http://www.laabmayr.at/de/referenzen/strassentunnel/01_31_S10_Tunnel_Goetschka.php)  
abgerufen am 16.1.2013 um 16:00

URL: <http://www.meinbezirk.at/freistadt/chronik/tunnelportal-goetschka-sued-m1392345,198964.html>  
abgerufen am 16.1.2013 um 16:20

URL:  
[http://www.weyland.at/fileadmin/weyland/PDFs/WPL\\_Schlaufe\\_AQ\\_Maerz\\_2007.pdf](http://www.weyland.at/fileadmin/weyland/PDFs/WPL_Schlaufe_AQ_Maerz_2007.pdf)  
abgerufen am 21.1.2013 um 9:55

Wannenwetsch H. (2007): Integrierte Materialwirtschaft und Logistik – Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion (3., aktualisierte Auflage)  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg  
ISBN: 978-3-540-29756-7