

**Wiederholungsklausur “Operations- und Logistikmanagement”
im Studiengang “Produktion & Logistik”
Wintersemester 2021-2022**

Hinweise:

- **Die Klausur besteht aus sechs** Aufgaben, die **alle** von Ihnen zu bearbeiten sind. Die erreichbare Punktzahl ist bei jeder Aufgabe angegeben.
- Als Hilfsmittel ist für diesen Klausurteil ein nicht alpha-numerisch programmierbarer Taschenrechner zulässig.
- **Der Lösungsweg muss erkennbar sein!** Wenn Sie zur Beantwortung einer Frage eine Formel verwenden, so geben Sie diese zunächst in allgemeiner Form an!
- Geben Sie bei Ihren Berechnungen **stets die Einheiten** der verwendeten Größen an!
- Zur Beantwortung der Fragen finden Sie genügend Platz in der Klausur. Bitte reißen Sie die Klausur nicht auseinander und verwenden Sie kein eigenes Papier.
- **Tabellenwerke** finden Sie im **Anhang der Klausur**.
- Tragen Sie bitte zuerst Ihre persönlichen Daten ein.

Persönliche Daten:

Nachname	Vorname	Matrikelnr.	Semester

Bewertung der Klausur:

Aufg.	1	2	3	4	5	6	Summe
Punkte							

1. Prozessanalyse

(10 P.)

Zur Analyse eines Bediensystems mit einem Server liegen Ihnen die folgenden Informationen vor:

- Für den Erwartungswert der Zwischenankunftszeit gilt $E[T_a] = 22$ ZE.
- Für den Erwartungswert der Servicezeit gilt $E[T_s] = 10$ ZE.
- Der quadrierte Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeiten ist $c_a^2 = 0,3$, jener der Servicezeiten beträgt $c_s^2 = 0,2$.

Führen Sie die Analyse entlang der folgenden Fragen durch und **geben Sie in jeder Rechnung zunächst die generelle Berechnungsformel an!**

a) Wie groß ist die Ankunftsrate λ ? (1 P.)

b) Wie groß ist die Bedien- oder Servicerate μ ? (1 P.)

c) Wie groß ist die Auslastung ρ ? (1 P.)

d) Wie groß ist der Erwartungswert der Durchlaufzeit $E[W]$ durch das System?
(2 P.)

e) Wie groß ist der Erwartungswert des Bestandes im System $E[L]$? (2 P.)

f) Wie groß ist der Erwartungswert des Bestandes in der Warteschlange $E[L_q]$?
(1 P.)

- g) In welche Richtung und warum verändert sich bei dem betrachteten System der Variationskoeffizient c_d^2 der Zwischenabgangszeiten, wenn man *ceteris paribus* statt eines Servers mit den oben genannten Parametern zwei derartige Server einsetzt? (2 P.).

2. Ablaufplanung mit Prioritätsregeln (10 P.)

Drei Aufträge $j = 1, \dots, 3$ erfordern je zwei Prozessschritte $s = 1, \dots, 2$ an Maschinen A bzw. B gemäß Tabelle 1. Die Liefertermine der Aufträge entnehmen Sie der Tabelle 2.

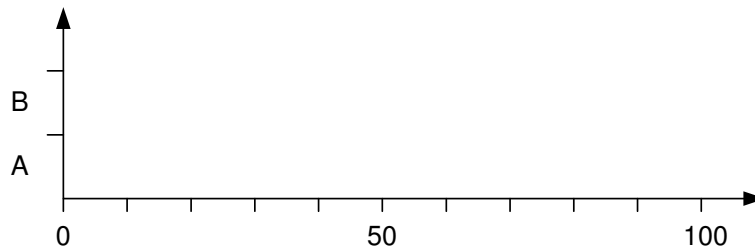
Tabelle 1: Ressourcen (Maschinen) und Dauern (in Zeiteinheiten) der Prozessschritte

Job $j \setminus$ Schritt s	1	2
1	A / 50	B / 10
2	B / 20	A / 30
3	B / 10	A / 20

Tabelle 2: Liefertermine der Aufträge

j	Liefertermin für Auftrag j [ZE]
1	110
2	30
3	40

- a) Ermitteln Sie in dem folgenden Diagramm die Maschinenbelegung nach der Kürzeste-Operationszeit-Regel (KOZ-Regel). (4 P.)



- i. Wann wird jeder der Aufträge fertig gestellt?

Auftrag 1:

Auftrag 2:

Auftrag 3:

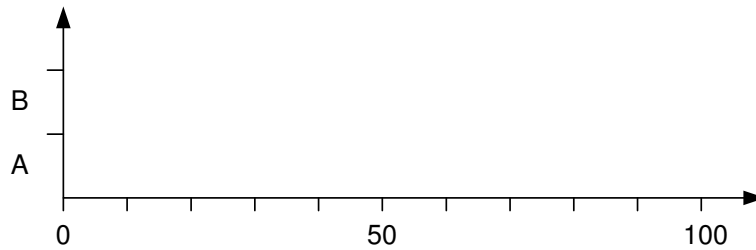
- ii. Wie groß ist die Verspätung bei jedem einzelnen Auftrag?

Auftrag 1:

Auftrag 2:

Auftrag 3:

- b) Ermitteln Sie in dem folgenden Diagramm die Maschinenbelegung nach der Liefertermin-Regel (LT-Regel). (4 P.)



- i. Wann wird jeder der Aufträge fertig gestellt?

Auftrag 1:

Auftrag 2:

Auftrag 3:

- ii. Wie groß ist die Verspätung bei jedem einzelnen Auftrag?

Auftrag 1:

Auftrag 2:

Auftrag 3:

- c) Führt die Verwendung der Liefertermin-Regel immer zu einer Maschinenbelegung mit einer kürzeren Verspätung als die Kürzeste-Operationszeit-Regel? Begründen Sie Ihre Antwort. (2 P.)

3. Einfache vs. ausgefeilte Prognoserechnung

(10 P.):

a) Geben Sie in der folgenden Tabelle an, ob bei einer

(5 P.)

- einfachen Prognoserechnung bzw. einer
- ausgefeilten Prognoserechnung

die dort aufgeführten Merkmale eher stark oder eher schwach ausgeprägt sind:

	einfache Prognoserechnung	ausgefeilte Prognoserechnung
ökonomische Bedeutung der Prognose		
Umfang der Datenbasis		
mathematische Komplexität der Rechnung		
Genauigkeit der Rechnung		
Automatisierungsgrad		

b) Geben Sie je ein Beispiel für einen Prognosegegenstand, bei dem Sie eine eher einfache oder eine eher ausgefeilte Prognoserechnung für sinnvoll halten, und begründen Sie Ihre Einschätzung! (2 P.)

- c) Worin besteht bei einer Prognoserechnung das Problem des “Overfitting” und wie begegnet man diesem? (3 P.)

4. Entscheidungsmodelle und Algorithmen

(10 P.)

- a) Erläutern Sie die fünf verschiedenen Komponenten von Entscheidungsmodellen! (5 P.)

b) Wozu formuliert man mathematische Entscheidungsmodelle? (1 P.)

c) Worin besteht der Unterschied zwischen einem abstrakten Modell und einer konkreten Modellinstanz? (2 P.)

d) Kennzeichnen Sie die Beziehungen und Unterschiede zwischen den drei folgenden Begriffen:

- heuristisches Optimierungsverfahren
- Algorithmus
- exaktes Optimierungsverfahren

(2 P.)

5. Einmalige Bestellvorgänge - Zeitungsjungenproblem (10 P.)

Betrachtet wird die Bestellung eines verderblichen Gutes. Der Kostensatz für Fehlmengen sei $c_u = 3$ Geldeinheiten, der für Restmengen betrage $c_o = 4$ Geldeinheiten. Angestrebt wird die Minimierung der Summe aus Kosten für Fehlmengen sowie für Restmengen. (Erforderliche Tabellenwerke finden Sie im Anhang.)

- a) Unterstellen Sie, die Nachfrage folge einer Normalverteilung. Der Erwartungswert der zufälligen Nachfrage D sei $\mu_D = 100$ Mengeneinheiten (ME) und die Standardabweichung betrage $\sigma_D = 30$ ME.
- i. Welche Bestellmenge führt in diesem Fall zum Kostenminimum? (3 P.)

ii. Wie groß sind bei einer Bestellmenge q von 120 Mengeneinheiten der sich einstellende α -Servicegrad, der Erwartungswert der Fehlmenge $E[F(q)]$ und der β -Servicegrad? (6 P.)

b) Unterstellen Sie nun, die Standardabweichung der Nachfrage betrage $\sigma_D = 0$ Mengeneinheiten. Der Erwartungswert der Nachfrage D sei weiterhin $\mu_D = 100$ ME. Welche Bestellmenge führt in diesem Fall zum Kostenminimum? Wie groß ist dieses Kostenminimum? (1 P.)

6. Dynamische Losgrößenplanung, Modellierung

(10 P.)

Symbol	Bedeutung
Indizes	
$k = 1, \dots, K$	Produkte
$t = 1, \dots, T$	Perioden
Parameter	
c_t	Kapazität der Ressource in Periode t
d_{kt}	Bedarf von Produkt k in Periode t
hc_k	Kosten der Lagerung einer Einheit von Produkt k pro Periode
sc_k	Kosten eines Rüstvorgangs für Produkt k
tb_k	Stückbearbeitungszeit für Produkt k
ts_k	Rüstzeit für Produkt k
Y_{k0}	Lageranfangsbestand von Produkt k
Entscheidungsvariablen	
$Q_{kt} \geq 0$	Produktionsmenge von Produkt k in Periode t
$Y_{kt} \geq 0$	Lagerbestand von Produkt k am Ende von Periode t
$\gamma_{kt} \in \{0, 1\}$	binäre Rüstvariable, hat den Wert 1, wenn in Periode t das Produkt k aufgelegt wird, ansonsten den Wert 0

Gegeben sei das folgende Capacitated Lot Sizing Problem (CLSP) mit der Notation in der oben angegebenen Tabelle:

$$\text{Minimiere } Z = \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T (sc_k \cdot \gamma_{kt} + hc_k \cdot Y_{kt}) \quad (1)$$

u.B.d.R.

$$Y_{k,t-1} + Q_{kt} - Y_{kt} = d_{kt}, \quad \forall k, t \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K (ts_k \cdot \gamma_{kt} + tb_k \cdot Q_{kt}) \leq c_t, \quad \forall t \quad (3)$$

$$Q_{kt} \leq \frac{c_t}{tb_k} \cdot \gamma_{kt}, \quad \forall k, t \quad (4)$$

- a) Welcher betriebswirtschaftliche Zielkonflikt der Planung von Produktionslosgrößen wird durch dieses Modell abgebildet? (2 P.)

b) Was wird durch die Restriktion (2) zum Ausdruck gebracht? (2 P.)

c) Was wird durch die Restriktion (3) gefordert? (2 P.)

d) Nehmen Sie nun an, dass jede gelagerte Einheit von Produkt k für die Lagerung eine Lagerfläche lf_k benötigt und dass die gesamte Lagerfläche F sei. Formulieren Sie ein System von Nebenbedingungen, welches dafür sorgt, dass die geplanten Lagerbestände in allen Perioden die zur Verfügung stehende Lagerfläche nicht überschreiten, und erläutern Sie dieses. (2 P.)

e) Gehen Sie davon aus, dass es eine Menge $\mathcal{K}^{\text{wichtig}}$ besonders wichtiger Produkte gibt. Für jedes Produkt aus dieser Menge besonders wichtiger Produkte soll ein ein Mindestlagerbestand Y_k^{min} eingehalten werden. Formulieren Sie ein System von Nebenbedingungen, welches diese Anforderung an die Lösung zum Ausdruck bringt, und erläutern Sie dieses. (2 P.)

Anhang

1 Tabellenwerte der Standardnormalverteilung

Es sei X eine standardnormalverteilte Zufallsvariable, es sei also ihr Erwartungswert $\mu = 0$ und ihre Standardabweichung $\sigma = 1$. Die folgende Tabelle enthält für $-3 \leq x \leq 3$ die korrespondierenden Werte der Verteilungsfunktion $F_X(x)$.

x	$F_X(x)$								
-3,00	0,001350	-2,23	0,012874	-1,46	0,072145	-0,69	0,245097	0,08	0,531881
-2,99	0,001395	-2,22	0,013209	-1,45	0,073529	-0,68	0,248252	0,09	0,535856
-2,98	0,001441	-2,21	0,013553	-1,44	0,074934	-0,67	0,251429	0,10	0,539828
-2,97	0,001489	-2,20	0,013903	-1,43	0,076359	-0,66	0,254627	0,11	0,543795
-2,96	0,001538	-2,19	0,014262	-1,42	0,077804	-0,65	0,257846	0,12	0,547758
-2,95	0,001589	-2,18	0,014629	-1,41	0,079270	-0,64	0,261086	0,13	0,551717
-2,94	0,001641	-2,17	0,015003	-1,40	0,080757	-0,63	0,264347	0,14	0,555670
-2,93	0,001695	-2,16	0,015386	-1,39	0,082264	-0,62	0,267629	0,15	0,559618
-2,92	0,001750	-2,15	0,015778	-1,38	0,083793	-0,61	0,270931	0,16	0,563559
-2,91	0,001807	-2,14	0,016177	-1,37	0,085343	-0,60	0,274253	0,17	0,567495
-2,90	0,001866	-2,13	0,016586	-1,36	0,086915	-0,59	0,277595	0,18	0,571424
-2,89	0,001926	-2,12	0,017003	-1,35	0,088508	-0,58	0,280957	0,19	0,575345
-2,88	0,001988	-2,11	0,017429	-1,34	0,090123	-0,57	0,284339	0,20	0,579260
-2,87	0,002052	-2,10	0,017864	-1,33	0,091759	-0,56	0,287740	0,21	0,583166
-2,86	0,002118	-2,09	0,018309	-1,32	0,093418	-0,55	0,291160	0,22	0,587064
-2,85	0,002186	-2,08	0,018763	-1,31	0,095098	-0,54	0,294599	0,23	0,590954
-2,84	0,002256	-2,07	0,019226	-1,30	0,096800	-0,53	0,298056	0,24	0,594835
-2,83	0,002327	-2,06	0,019699	-1,29	0,098525	-0,52	0,301532	0,25	0,598706
-2,82	0,002401	-2,05	0,020182	-1,28	0,100273	-0,51	0,305026	0,26	0,602568
-2,81	0,002477	-2,04	0,020675	-1,27	0,102042	-0,50	0,308538	0,27	0,606420
-2,80	0,002555	-2,03	0,021178	-1,26	0,103835	-0,49	0,312067	0,28	0,610261
-2,79	0,002635	-2,02	0,021692	-1,25	0,105650	-0,48	0,315614	0,29	0,614092
-2,78	0,002718	-2,01	0,022216	-1,24	0,107488	-0,47	0,319178	0,30	0,617911
-2,77	0,002803	-2,00	0,022750	-1,23	0,109349	-0,46	0,322758	0,31	0,621720
-2,76	0,002890	-1,99	0,023295	-1,22	0,111232	-0,45	0,326355	0,32	0,625516
-2,75	0,002980	-1,98	0,023852	-1,21	0,113139	-0,44	0,329969	0,33	0,629300
-2,74	0,003072	-1,97	0,024419	-1,20	0,115070	-0,43	0,333598	0,34	0,633072
-2,73	0,003167	-1,96	0,024998	-1,19	0,117023	-0,42	0,337243	0,35	0,636831
-2,72	0,003264	-1,95	0,025588	-1,18	0,119000	-0,41	0,340903	0,36	0,640576
-2,71	0,003364	-1,94	0,026190	-1,17	0,121000	-0,40	0,344578	0,37	0,644309
-2,70	0,003467	-1,93	0,026803	-1,16	0,123024	-0,39	0,348268	0,38	0,648027
-2,69	0,003573	-1,92	0,027429	-1,15	0,125072	-0,38	0,351973	0,39	0,651732
-2,68	0,003681	-1,91	0,028067	-1,14	0,127143	-0,37	0,355691	0,40	0,655422
-2,67	0,003793	-1,90	0,028717	-1,13	0,129238	-0,36	0,359424	0,41	0,659097
-2,66	0,003907	-1,89	0,029379	-1,12	0,131357	-0,35	0,363169	0,42	0,662757
-2,65	0,004025	-1,88	0,030054	-1,11	0,133500	-0,34	0,366928	0,43	0,666402
-2,64	0,004145	-1,87	0,030742	-1,10	0,135666	-0,33	0,370700	0,44	0,670031
-2,63	0,004269	-1,86	0,031443	-1,09	0,137857	-0,32	0,374484	0,45	0,673645
-2,62	0,004396	-1,85	0,032157	-1,08	0,140071	-0,31	0,378280	0,46	0,677242
-2,61	0,004527	-1,84	0,032884	-1,07	0,142310	-0,30	0,382089	0,47	0,680822
-2,60	0,004661	-1,83	0,033625	-1,06	0,144572	-0,29	0,385908	0,48	0,684386
-2,59	0,004799	-1,82	0,034380	-1,05	0,146859	-0,28	0,389739	0,49	0,687933
-2,58	0,004940	-1,81	0,035148	-1,04	0,149170	-0,27	0,393580	0,50	0,691462
-2,57	0,005085	-1,80	0,035930	-1,03	0,151505	-0,26	0,397432	0,51	0,694974
-2,56	0,005234	-1,79	0,036727	-1,02	0,153864	-0,25	0,401294	0,52	0,698468
-2,55	0,005386	-1,78	0,037538	-1,01	0,156248	-0,24	0,405165	0,53	0,701944
-2,54	0,005543	-1,77	0,038364	-1,00	0,158655	-0,23	0,409046	0,54	0,705401
-2,53	0,005703	-1,76	0,039204	-0,99	0,161087	-0,22	0,412936	0,55	0,708840
-2,52	0,005868	-1,75	0,040059	-0,98	0,163543	-0,21	0,416834	0,56	0,712260
-2,51	0,006037	-1,74	0,040930	-0,97	0,166023	-0,20	0,420740	0,57	0,715661
-2,50	0,006210	-1,73	0,041815	-0,96	0,168528	-0,19	0,424655	0,58	0,719043
-2,49	0,006387	-1,72	0,042716	-0,95	0,171056	-0,18	0,428576	0,59	0,722405
-2,48	0,006569	-1,71	0,043633	-0,94	0,173609	-0,17	0,432505	0,60	0,725747
-2,47	0,006756	-1,70	0,044565	-0,93	0,176186	-0,16	0,436441	0,61	0,729069
-2,46	0,006947	-1,69	0,045514	-0,92	0,178786	-0,15	0,440382	0,62	0,732371
-2,45	0,007143	-1,68	0,046479	-0,91	0,181411	-0,14	0,444330	0,63	0,735653
-2,44	0,007344	-1,67	0,047460	-0,90	0,184060	-0,13	0,448283	0,64	0,738914
-2,43	0,007549	-1,66	0,048457	-0,89	0,186733	-0,12	0,452242	0,65	0,742154
-2,42	0,007760	-1,65	0,049471	-0,88	0,189430	-0,11	0,456205	0,66	0,745373
-2,41	0,007976	-1,64	0,050503	-0,87	0,192150	-0,10	0,460172	0,67	0,748571
-2,40	0,008198	-1,63	0,051551	-0,86	0,194895	-0,09	0,464144	0,68	0,751748
-2,39	0,008424	-1,62	0,052616	-0,85	0,197663	-0,08	0,468119	0,69	0,754903
-2,38	0,008656	-1,61	0,053699	-0,84	0,200454	-0,07	0,472097	0,70	0,758036
-2,37	0,008894	-1,60	0,054799	-0,83	0,203269	-0,06	0,476078	0,71	0,761148
-2,36	0,009137	-1,59	0,055917	-0,82	0,206108	-0,05	0,480061	0,72	0,764238
-2,35	0,009387	-1,58	0,057053	-0,81	0,208970	-0,04	0,484047	0,73	0,767305
-2,34	0,009642	-1,57	0,058208	-0,80	0,211855	-0,03	0,488034	0,74	0,770350
-2,33	0,009903	-1,56	0,059380	-0,79	0,214764	-0,02	0,492022	0,75	0,773373
-2,32	0,010170	-1,55	0,060571	-0,78	0,217695	-0,01	0,496011	0,76	0,776373
-2,31	0,010444	-1,54	0,061780	-0,77	0,220650	0,00	0,500000	0,77	0,779350
-2,30	0,010724	-1,53	0,063008	-0,76	0,223627	0,01	0,503989	0,78	0,782305
-2,29	0,011011	-1,52	0,064255	-0,75	0,226627	0,02	0,507978	0,79	0,785236
-2,28	0,011304	-1,51	0,065522	-0,74	0,229650	0,03	0,511965	0,80	0,788145
-2,27	0,011604	-1,50	0,066807	-0,73	0,232695	0,04	0,515953	0,81	0,791030
-2,26	0,011911	-1,49	0,068112	-0,72	0,235762	0,05	0,519939	0,82	0,793892
-2,25	0,012224	-1,48	0,069437	-0,71	0,238852	0,06	0,523922	0,83	0,796731
-2,24	0,012545	-1,47	0,070781	-0,70	0,241964	0,07	0,527903	0,84	0,799546

0,85	0,802337	1,29	0,901475	1,73	0,958185	2,17	0,984997	2,61	0,995473
0,86	0,805105	1,30	0,903200	1,74	0,959070	2,18	0,985371	2,62	0,995604
0,87	0,807850	1,31	0,904902	1,75	0,959941	2,19	0,985738	2,63	0,995731
0,88	0,810570	1,32	0,906582	1,76	0,960796	2,20	0,986097	2,64	0,995855
0,89	0,813267	1,33	0,908241	1,77	0,961636	2,21	0,986447	2,65	0,995975
0,90	0,815940	1,34	0,909877	1,78	0,962462	2,22	0,986791	2,66	0,996093
0,91	0,818589	1,35	0,911492	1,79	0,963273	2,23	0,987126	2,67	0,996207
0,92	0,821214	1,36	0,913085	1,80	0,964070	2,24	0,987455	2,68	0,996319
0,93	0,823814	1,37	0,914657	1,81	0,964852	2,25	0,987776	2,69	0,996427
0,94	0,826391	1,38	0,916207	1,82	0,965620	2,26	0,988089	2,70	0,996533
0,95	0,828944	1,39	0,917736	1,83	0,966375	2,27	0,988396	2,71	0,996636
0,96	0,831472	1,40	0,919243	1,84	0,967116	2,28	0,988696	2,72	0,996736
0,97	0,833977	1,41	0,920730	1,85	0,967843	2,29	0,988989	2,73	0,996833
0,98	0,836457	1,42	0,922196	1,86	0,968557	2,30	0,989276	2,74	0,996928
0,99	0,838913	1,43	0,923641	1,87	0,969258	2,31	0,989556	2,75	0,997020
1,00	0,841345	1,44	0,925066	1,88	0,969946	2,32	0,989830	2,76	0,997110
1,01	0,843752	1,45	0,926471	1,89	0,970621	2,33	0,990097	2,77	0,997197
1,02	0,846136	1,46	0,927855	1,90	0,971283	2,34	0,990358	2,78	0,997282
1,03	0,848495	1,47	0,929219	1,91	0,971933	2,35	0,990613	2,79	0,997365
1,04	0,850830	1,48	0,930563	1,92	0,972571	2,36	0,990863	2,80	0,997445
1,05	0,853141	1,49	0,931888	1,93	0,973197	2,37	0,991106	2,81	0,997523
1,06	0,855428	1,50	0,933193	1,94	0,973810	2,38	0,991344	2,82	0,997599
1,07	0,857690	1,51	0,934478	1,95	0,974412	2,39	0,991576	2,83	0,997673
1,08	0,859929	1,52	0,935745	1,96	0,975002	2,40	0,991802	2,84	0,997744
1,09	0,862143	1,53	0,936992	1,97	0,975581	2,41	0,992024	2,85	0,997814
1,10	0,864334	1,54	0,938220	1,98	0,976148	2,42	0,992240	2,86	0,997882
1,11	0,866500	1,55	0,939429	1,99	0,976705	2,43	0,992451	2,87	0,997948
1,12	0,868643	1,56	0,940620	2,00	0,977250	2,44	0,992656	2,88	0,998012
1,13	0,870762	1,57	0,941792	2,01	0,977784	2,45	0,992857	2,89	0,998074
1,14	0,872857	1,58	0,942947	2,02	0,978308	2,46	0,993053	2,90	0,998134
1,15	0,874928	1,59	0,944083	2,03	0,978822	2,47	0,993244	2,91	0,998193
1,16	0,876976	1,60	0,945201	2,04	0,979325	2,48	0,993431	2,92	0,998250
1,17	0,879000	1,61	0,946301	2,05	0,979818	2,49	0,993613	2,93	0,998305
1,18	0,881000	1,62	0,947384	2,06	0,980301	2,50	0,993790	2,94	0,998359
1,19	0,882977	1,63	0,948449	2,07	0,980774	2,51	0,993963	2,95	0,998411
1,20	0,884930	1,64	0,949497	2,08	0,981237	2,52	0,994132	2,96	0,998462
1,21	0,886861	1,65	0,950529	2,09	0,981691	2,53	0,994297	2,97	0,998511
1,22	0,888768	1,66	0,951543	2,10	0,982136	2,54	0,994457	2,98	0,998559
1,23	0,890651	1,67	0,952540	2,11	0,982571	2,55	0,994614	2,99	0,998605
1,24	0,892512	1,68	0,953521	2,12	0,982997	2,56	0,994766	3,00	0,998650
1,25	0,894350	1,69	0,954486	2,13	0,983414	2,57	0,994915		
1,26	0,896165	1,70	0,955435	2,14	0,983823	2,58	0,995060		
1,27	0,897958	1,71	0,956367	2,15	0,984222	2,59	0,995201		
1,28	0,899727	1,72	0,957284	2,16	0,984614	2,60	0,995339		

2 Standardisierte Fehlmengenerwartungswerte

Es sei X eine standardnormalverteilte Zufallsvariable, folglich gilt für ihre Dichtefunktion

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}. \quad (5)$$

Man kann nun die Frage stellen, wie groß der Erwartungswert jenes Betrages ist, um den die standardnormalverteilte Zufallsvariable X einen vorgegebenen Wert v überschreitet, und dafür das Symbol $\Phi^1(v)$ definieren:

$$\begin{aligned} \Phi^1(v) &= E[\max(0, X - v)] \\ &= \int_{x=-\infty}^{x=\infty} \max(0, x - v) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \\ &= \int_{x=v}^{x=\infty} (x - v) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \end{aligned} \quad (6)$$

Diese Größe wird als *standardisierter Fehlmengenerwartungswert* oder auch als *Verlustfunktion erster Ordnung* bezeichnet, weil man mit ihr abbilden kann, um wie viel eine zufällige standardnormalverteilte Nachfrage X einen vorhandenen Bestand oder eine beschaffte Menge v im Mittel überschreitet.

Die folgende Tabelle enthält für $-3 \leq v \leq 3$ die korrespondierenden standardisierten Fehlmengenerwartungswerte $\Phi^1(v)$.

v	$\Phi^1(v)$								
-3,00	3,000382	-2,50	2,502004	-2,00	2,008491	-1,50	1,529307	-1,00	1,083315
-2,99	2,990396	-2,49	2,492067	-1,99	1,998721	-1,49	1,519981	-0,99	1,074914
-2,98	2,980410	-2,48	2,482132	-1,98	1,988957	-1,48	1,510669	-0,98	1,066537
-2,97	2,970425	-2,47	2,472199	-1,97	1,979198	-1,47	1,501370	-0,97	1,058185
-2,96	2,960440	-2,46	2,462267	-1,96	1,969445	-1,46	1,492085	-0,96	1,049858
-2,95	2,950455	-2,45	2,452337	-1,95	1,959698	-1,45	1,482813	-0,95	1,041556
-2,94	2,940472	-2,44	2,442410	-1,94	1,949957	-1,44	1,473555	-0,94	1,033279
-2,93	2,930488	-2,43	2,432484	-1,93	1,940222	-1,43	1,464312	-0,93	1,025028
-2,92	2,920506	-2,42	2,422561	-1,92	1,930493	-1,42	1,455083	-0,92	1,016803
-2,91	2,910523	-2,41	2,412640	-1,91	1,920770	-1,41	1,445868	-0,91	1,008604
-2,90	2,900542	-2,40	2,402720	-1,90	1,911054	-1,40	1,436668	-0,90	1,000431
-2,89	2,890561	-2,39	2,392804	-1,89	1,901345	-1,39	1,427483	-0,89	0,992285
-2,88	2,880580	-2,38	2,382889	-1,88	1,891642	-1,38	1,418314	-0,88	0,984166
-2,87	2,870600	-2,37	2,372977	-1,87	1,881946	-1,37	1,409159	-0,87	0,976074
-2,86	2,860621	-2,36	2,363067	-1,86	1,872257	-1,36	1,400020	-0,86	0,968009
-2,85	2,850643	-2,35	2,353159	-1,85	1,862575	-1,35	1,390898	-0,85	0,959972
-2,84	2,840665	-2,34	2,343255	-1,84	1,852900	-1,34	1,381791	-0,84	0,951962
-2,83	2,830688	-2,33	2,333352	-1,83	1,843233	-1,33	1,372700	-0,83	0,943981
-2,82	2,820712	-2,32	2,323453	-1,82	1,833573	-1,32	1,363626	-0,82	0,936028
-2,81	2,810736	-2,31	2,313556	-1,81	1,823920	-1,31	1,354568	-0,81	0,928103
-2,80	2,800761	-2,30	2,303662	-1,80	1,814276	-1,30	1,345528	-0,80	0,920207
-2,79	2,790787	-2,29	2,293770	-1,79	1,804639	-1,29	1,336505	-0,79	0,912340
-2,78	2,780814	-2,28	2,283882	-1,78	1,795010	-1,28	1,327499	-0,78	0,904503
-2,77	2,770841	-2,27	2,273996	-1,77	1,785390	-1,27	1,318510	-0,77	0,896694
-2,76	2,760870	-2,26	2,264114	-1,76	1,775777	-1,26	1,309539	-0,76	0,888916
-2,75	2,750899	-2,25	2,254235	-1,75	1,766174	-1,25	1,300587	-0,75	0,881167
-2,74	2,740929	-2,24	2,244358	-1,74	1,756579	-1,24	1,291653	-0,74	0,873448
-2,73	2,730961	-2,23	2,234486	-1,73	1,746992	-1,23	1,282737	-0,73	0,865760
-2,72	2,720993	-2,22	2,224616	-1,72	1,737415	-1,22	1,273840	-0,72	0,858102
-2,71	2,711026	-2,21	2,214750	-1,71	1,727847	-1,21	1,264961	-0,71	0,850475
-2,70	2,701060	-2,20	2,204887	-1,70	1,718288	-1,20	1,256102	-0,70	0,842879
-2,69	2,691095	-2,19	2,195028	-1,69	1,708738	-1,19	1,247263	-0,69	0,835315
-2,68	2,681132	-2,18	2,185172	-1,68	1,699198	-1,18	1,238443	-0,68	0,827781
-2,67	2,671169	-2,17	2,175320	-1,67	1,689668	-1,17	1,229643	-0,67	0,820280
-2,66	2,661207	-2,16	2,165472	-1,66	1,680147	-1,16	1,220863	-0,66	0,812810
-2,65	2,651247	-2,15	2,155628	-1,65	1,670637	-1,15	1,212104	-0,65	0,805372
-2,64	2,641288	-2,14	2,145788	-1,64	1,661137	-1,14	1,203365	-0,64	0,797967
-2,63	2,631330	-2,13	2,135952	-1,63	1,651647	-1,13	1,194646	-0,63	0,790594
-2,62	2,621373	-2,12	2,126120	-1,62	1,642168	-1,12	1,185949	-0,62	0,783254
-2,61	2,611418	-2,11	2,116292	-1,61	1,632699	-1,11	1,177274	-0,61	0,775947
-2,60	2,601464	-2,10	2,106468	-1,60	1,623242	-1,10	1,168620	-0,60	0,768673
-2,59	2,591511	-2,09	2,096649	-1,59	1,613796	-1,09	1,159987	-0,59	0,761432
-2,58	2,581560	-2,08	2,086835	-1,58	1,604360	-1,08	1,151377	-0,58	0,754225
-2,57	2,571610	-2,07	2,077024	-1,57	1,594937	-1,07	1,142789	-0,57	0,747051
-2,56	2,561662	-2,06	2,067219	-1,56	1,585525	-1,06	1,134223	-0,56	0,739912
-2,55	2,551715	-2,05	2,057418	-1,55	1,576124	-1,05	1,125680	-0,55	0,732806
-2,54	2,541769	-2,04	2,047623	-1,54	1,566736	-1,04	1,117160	-0,54	0,725735
-2,53	2,531826	-2,03	2,037832	-1,53	1,557360	-1,03	1,108664	-0,53	0,718698
-2,52	2,521883	-2,02	2,028046	-1,52	1,547996	-1,02	1,100190	-0,52	0,711696
-2,51	2,511943	-2,01	2,018266	-1,51	1,538645	-1,01	1,091741	-0,51	0,704729

-0,50	0,697797	0,21	0,302707	0,92	0,096803	1,63	0,021647	2,34	0,003255
-0,49	0,690900	0,22	0,298558	0,93	0,095028	1,64	0,021137	2,35	0,003159
-0,48	0,684038	0,23	0,294448	0,94	0,093279	1,65	0,020637	2,36	0,003067
-0,47	0,677212	0,24	0,290377	0,95	0,091556	1,66	0,020147	2,37	0,002977
-0,46	0,670422	0,25	0,286345	0,96	0,089858	1,67	0,019668	2,38	0,002889
-0,45	0,663667	0,26	0,282351	0,97	0,088185	1,68	0,019198	2,39	0,002804
-0,44	0,656949	0,27	0,278396	0,98	0,086537	1,69	0,018738	2,40	0,002720
-0,43	0,650267	0,28	0,274479	0,99	0,084914	1,70	0,018288	2,41	0,002640
-0,42	0,643621	0,29	0,270601	1,00	0,083315	1,71	0,017847	2,42	0,002561
-0,41	0,637011	0,30	0,266761	1,01	0,081741	1,72	0,017415	2,43	0,002484
-0,40	0,630439	0,31	0,262959	1,02	0,080190	1,73	0,016992	2,44	0,002410
-0,39	0,623903	0,32	0,259196	1,03	0,078664	1,74	0,016579	2,45	0,002337
-0,38	0,617404	0,33	0,255470	1,04	0,077160	1,75	0,016174	2,46	0,002267
-0,37	0,610943	0,34	0,251782	1,05	0,075680	1,76	0,015777	2,47	0,002199
-0,36	0,604518	0,35	0,248131	1,06	0,074223	1,77	0,015390	2,48	0,002132
-0,35	0,598131	0,36	0,244518	1,07	0,072789	1,78	0,015010	2,49	0,002067
-0,34	0,591782	0,37	0,240943	1,08	0,071377	1,79	0,014639	2,50	0,002004
-0,33	0,585470	0,38	0,237404	1,09	0,069987	1,80	0,014276	2,51	0,001943
-0,32	0,579196	0,39	0,233903	1,10	0,068620	1,81	0,013920	2,52	0,001883
-0,31	0,572959	0,40	0,230439	1,11	0,067274	1,82	0,013573	2,53	0,001826
-0,30	0,566761	0,41	0,227011	1,12	0,065949	1,83	0,013233	2,54	0,001769
-0,29	0,560601	0,42	0,223621	1,13	0,064646	1,84	0,012900	2,55	0,001715
-0,28	0,554479	0,43	0,220267	1,14	0,063365	1,85	0,012575	2,56	0,001662
-0,27	0,548396	0,44	0,216949	1,15	0,062104	1,86	0,012257	2,57	0,001610
-0,26	0,542351	0,45	0,213667	1,16	0,060863	1,87	0,011946	2,58	0,001560
-0,25	0,536345	0,46	0,210422	1,17	0,059643	1,88	0,011642	2,59	0,001511
-0,24	0,530377	0,47	0,207212	1,18	0,058443	1,89	0,011345	2,60	0,001464
-0,23	0,524448	0,48	0,204038	1,19	0,057263	1,90	0,011054	2,61	0,001418
-0,22	0,518558	0,49	0,200900	1,20	0,056102	1,91	0,010770	2,62	0,001373
-0,21	0,512707	0,50	0,197797	1,21	0,054961	1,92	0,010493	2,63	0,001330
-0,20	0,506895	0,51	0,194729	1,22	0,053840	1,93	0,010222	2,64	0,001288
-0,19	0,501122	0,52	0,191696	1,23	0,052737	1,94	0,009957	2,65	0,001247
-0,18	0,495388	0,53	0,188698	1,24	0,051653	1,95	0,009698	2,66	0,001207
-0,17	0,489693	0,54	0,185735	1,25	0,050587	1,96	0,009445	2,67	0,001169
-0,16	0,484038	0,55	0,182806	1,26	0,049539	1,97	0,009198	2,68	0,001132
-0,15	0,478422	0,56	0,179912	1,27	0,048510	1,98	0,008957	2,69	0,001095
-0,14	0,472846	0,57	0,177051	1,28	0,047499	1,99	0,008721	2,70	0,001060
-0,13	0,467309	0,58	0,174225	1,29	0,046505	2,00	0,008491	2,71	0,001026
-0,12	0,461811	0,59	0,171432	1,30	0,045528	2,01	0,008266	2,72	0,000993
-0,11	0,456353	0,60	0,168673	1,31	0,044568	2,02	0,008046	2,73	0,000961
-0,10	0,450935	0,61	0,165947	1,32	0,043626	2,03	0,007832	2,74	0,000929
-0,09	0,445557	0,62	0,163254	1,33	0,042700	2,04	0,007623	2,75	0,000899
-0,08	0,440218	0,63	0,160594	1,34	0,041791	2,05	0,007418	2,76	0,000870
-0,07	0,434919	0,64	0,157967	1,35	0,040898	2,06	0,007219	2,77	0,000841
-0,06	0,429660	0,65	0,155372	1,36	0,040020	2,07	0,007024	2,78	0,000814
-0,05	0,424441	0,66	0,152810	1,37	0,039159	2,08	0,006835	2,79	0,000787
-0,04	0,419261	0,67	0,150280	1,38	0,038314	2,09	0,006649	2,80	0,000761
-0,03	0,414122	0,68	0,147781	1,39	0,037483	2,10	0,006468	2,81	0,000736
-0,02	0,409022	0,69	0,145315	1,40	0,036668	2,11	0,006292	2,82	0,000712
-0,01	0,403962	0,70	0,142879	1,41	0,035868	2,12	0,006120	2,83	0,000688
0,00	0,398942	0,71	0,140475	1,42	0,035083	2,13	0,005952	2,84	0,000665
0,01	0,393962	0,72	0,138102	1,43	0,034312	2,14	0,005788	2,85	0,000643
0,02	0,389022	0,73	0,135760	1,44	0,033555	2,15	0,005628	2,86	0,000621
0,03	0,384122	0,74	0,133448	1,45	0,032813	2,16	0,005472	2,87	0,000600
0,04	0,379261	0,75	0,131167	1,46	0,032085	2,17	0,005320	2,88	0,000580
0,05	0,374441	0,76	0,128916	1,47	0,031370	2,18	0,005172	2,89	0,000561
0,06	0,369660	0,77	0,126694	1,48	0,030669	2,19	0,005028	2,90	0,000542
0,07	0,364919	0,78	0,124503	1,49	0,029981	2,20	0,004887	2,91	0,000523
0,08	0,360218	0,79	0,122340	1,50	0,029307	2,21	0,004750	2,92	0,000506
0,09	0,355557	0,80	0,120207	1,51	0,028645	2,22	0,004616	2,93	0,000488
0,10	0,350935	0,81	0,118103	1,52	0,027996	2,23	0,004486	2,94	0,000472
0,11	0,346353	0,82	0,116028	1,53	0,027360	2,24	0,004358	2,95	0,000455
0,12	0,341811	0,83	0,113981	1,54	0,026736	2,25	0,004235	2,96	0,000440
0,13	0,337309	0,84	0,111962	1,55	0,026124	2,26	0,004114	2,97	0,000425
0,14	0,332846	0,85	0,109972	1,56	0,025525	2,27	0,003996	2,98	0,000410
0,15	0,328422	0,86	0,108009	1,57	0,024937	2,28	0,003882	2,99	0,000396
0,16	0,324038	0,87	0,106074	1,58	0,024360	2,29	0,003770	3,00	0,000382
0,17	0,319693	0,88	0,104166	1,59	0,023796	2,30	0,003662		
0,18	0,315388	0,89	0,102285	1,60	0,023242	2,31	0,003556		
0,19	0,311122	0,90	0,100431	1,61	0,022699	2,32	0,003453		
0,20	0,306895	0,91	0,098604	1,62	0,022168	2,33	0,003352		