

Klausur zur Vorlesung
“Logistik”
im Sommersemester 2024

Hinweise:

- Die Klausur besteht aus **21** Seiten (inkl. Deckblatt und **Tabelle** im Anhang). Bitte überprüfen Sie, ob Ihr Exemplar vollständig ist, und lassen Sie sich ggf. ein anderes geben.
- Die Klausur besteht aus **3** Aufgaben, die alle zu bearbeiten sind. Die erreichbare Punktzahl ist bei jeder Aufgabe angegeben. Insgesamt sind bei einer Klausurdauer von **60 Minuten** maximal **60 Punkte** zu erreichen.
- **Der Lösungsweg muss erkennbar sein!** Wenn Sie zur Beantwortung einer Frage eine Formel verwenden, so geben Sie diese zunächst in allgemeiner Form an.
- **Bitte antworten Sie kurz und präzise! Stichwortartige Antworten genügen!**
- Erlaubte Hilfsmittel sind ein nicht-programmierbarer Taschenrechner sowie **zwei** zweiseitig handschriftlich beschriebene Hilfsblätter im Format DIN A4 mit Formeln etc. nach Ihrer Wahl.
- Zur Beantwortung der Fragen finden Sie genügend Platz in der Klausur. Bitte reißen Sie die Klausur nicht auseinander und verwenden Sie kein eigenes Papier.
- Tragen Sie bitte zuerst Ihre persönlichen Daten ein.

Persönliche Daten:

Nachname	Vorname	Matrikelnr.	Studienfach	Semester

Bewertung:

Aufg.	1	2	3	Summe
Punkte				

1. Produktionslogistik

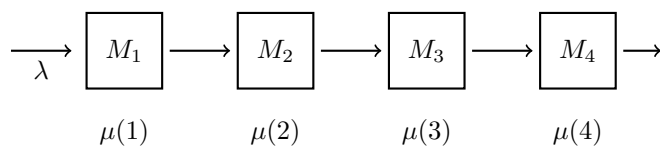
(21 P.)

Betrachten Sie einen Produktionsprozess mit vier Prozessschritten auf vier nacheinander angeordneten Maschinen und den mittleren Bearbeitungsdauern je Prozessschritt bzw. Maschine gemäß folgender Tabelle:

Prozessschritt/Maschine	1	2	3	4
(Mittlere) Dauer $E[T_s(i)]$ [ZE]	20	10	30	20

Die Bearbeitungszeiten seien exponentialverteilt mit Raten $\mu(1), \dots, \mu(4)$.

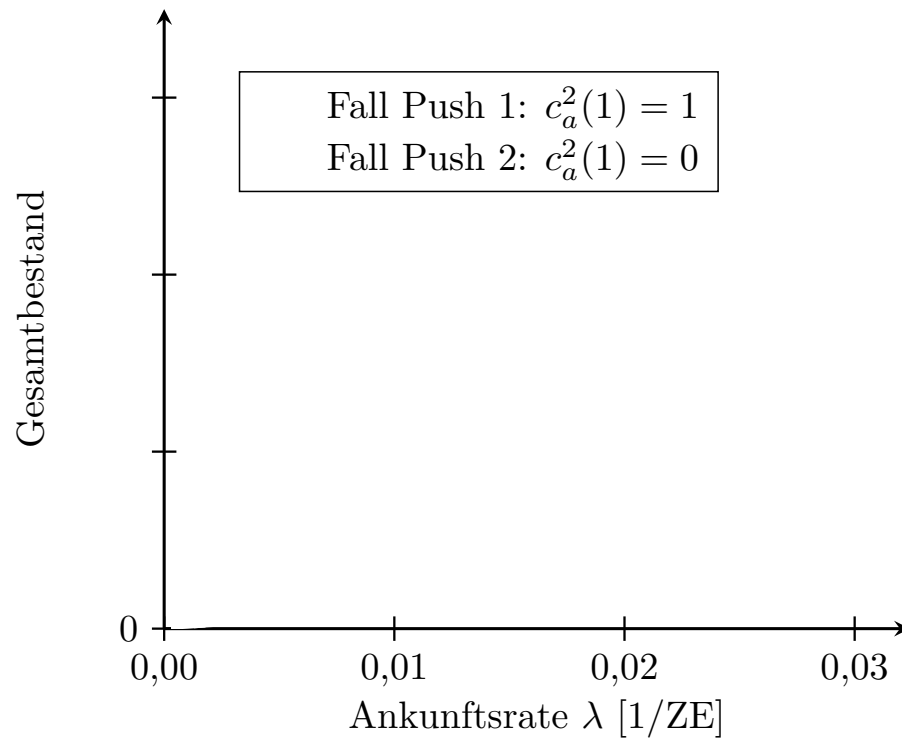
- (a) Betrachten Sie zunächst die in der folgenden Abbildung dargestellte Push-Produktionssteuerung der Produktionslinie:



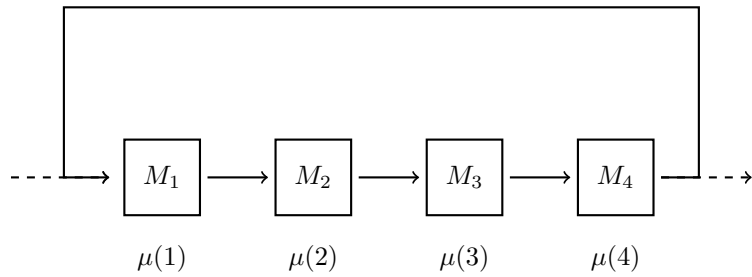
Unterscheiden Sie dabei zwei Fälle:

- **Fall “Push 1”:** Zwischenankunftszeiten folgen Exponentialverteilung, also $c_a^2 = 1$
 - **Fall “Push 2”:** Zwischenankunftszeiten stets identisch, also $c_a^2 = 0$
- i. Durch die Veränderung welcher Größe wird bei einer solchen Push-Produktionssteuerung das Produktionsgeschehen bestimmt und welche Größe(n) werden als davon abhängig betrachtet? (2 P.)

- ii. Skizzieren Sie nun in der folgenden Abbildung *qualitativ* den prinzipiellen Zusammenhang zwischen der Ankunftsrate λ und dem Gesamtbestand im System für die beiden Fälle der Push-Produktionssteuerung und erläutern Sie diesen! (3 P.)

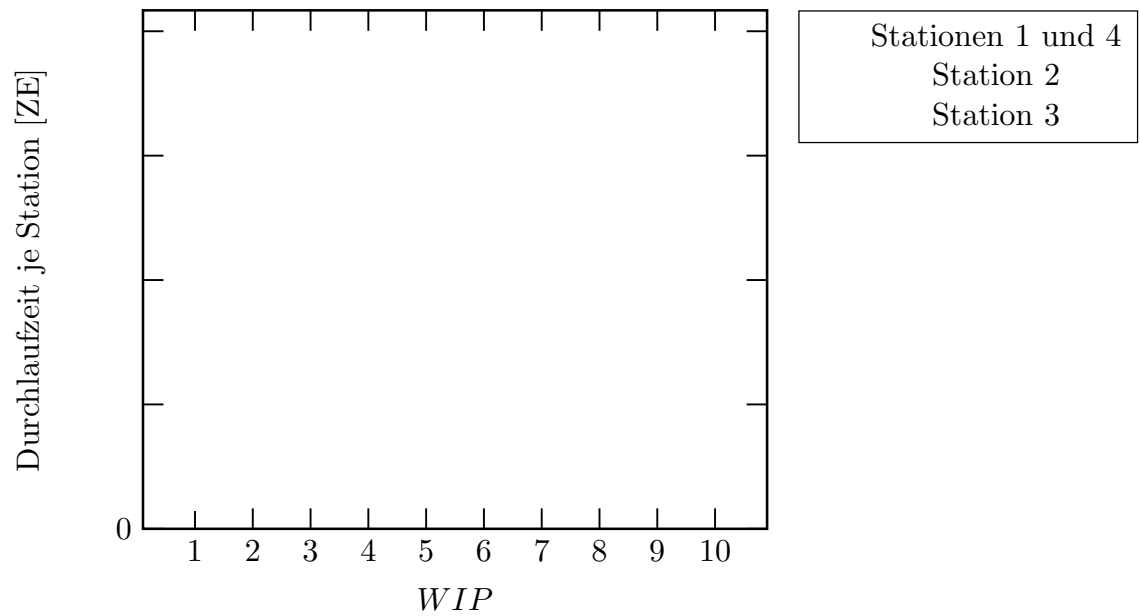


(b) Betrachten Sie nun die in der folgenden Abbildung dargestellte Pull-Produktionssteuerung der Produktionslinie nach dem ConWIP-Verfahren:

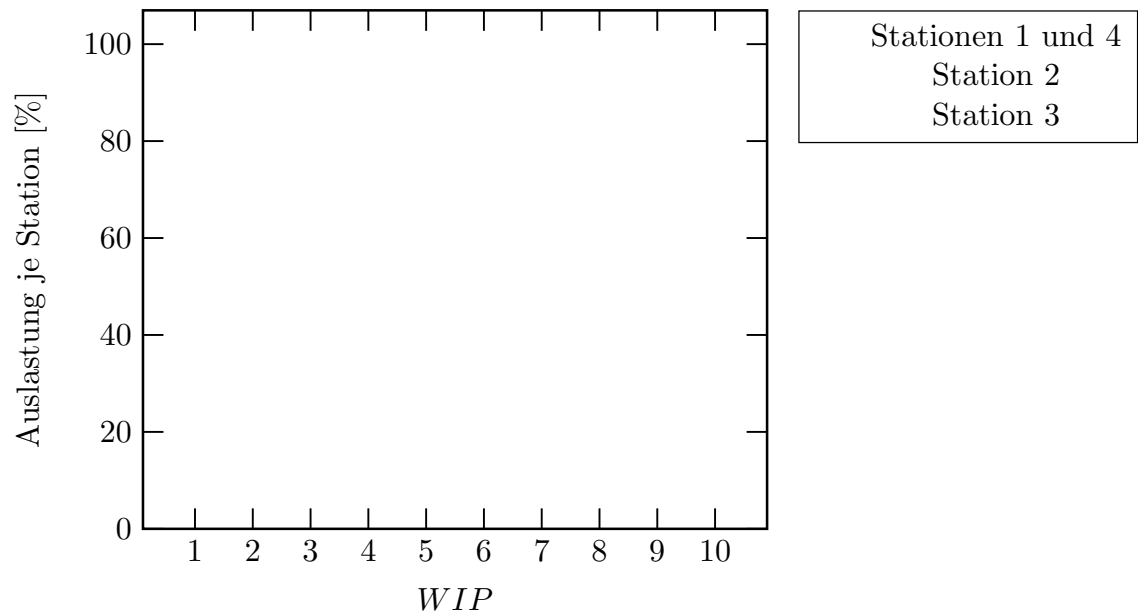


- i. Durch die Veränderung welcher Größe wird bei einer solchen Pull-Produktionssteuerung das Produktionsgeschehen bestimmt und welche Größe(n) werden als davon abhängig betrachtet? (2 P.)

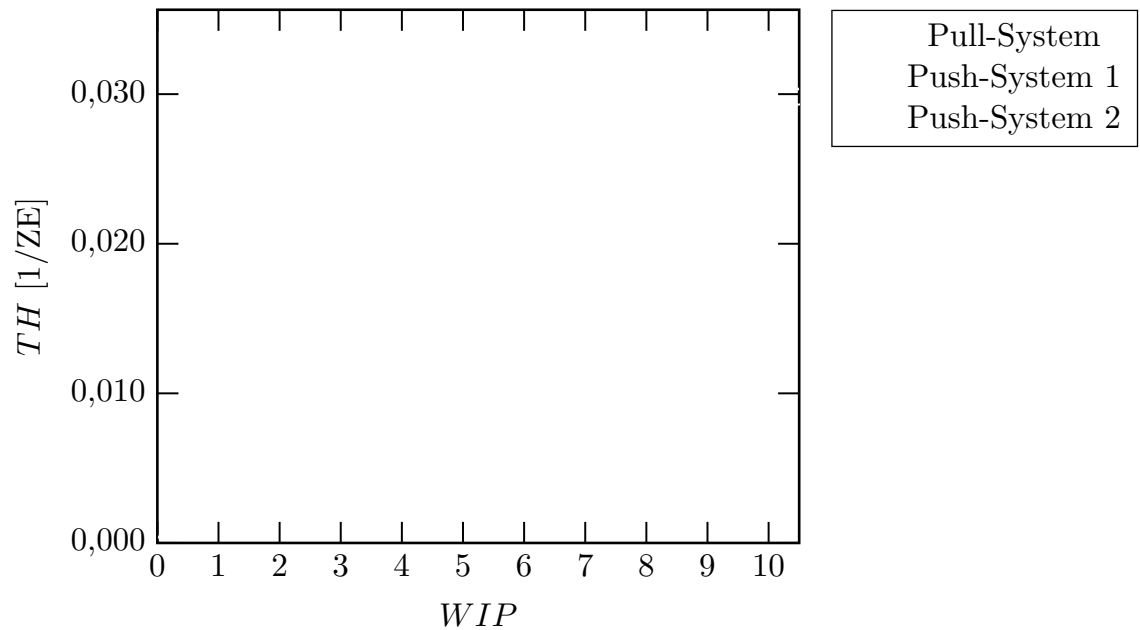
- ii. Skizzieren Sie nun in der folgenden Abbildung *qualitativ* den prinzipiellen Zusammenhang zwischen dem WIP und der Durchlaufzeit je Station im System und erläutern Sie diesen! (3 P.)



- iii. Skizzieren Sie nun in der folgenden Abbildung *qualitativ* den prinzipiellen Zusammenhang zwischen dem WIP und der Auslastung je Station im System und erläutern Sie diesen! (3 P.)



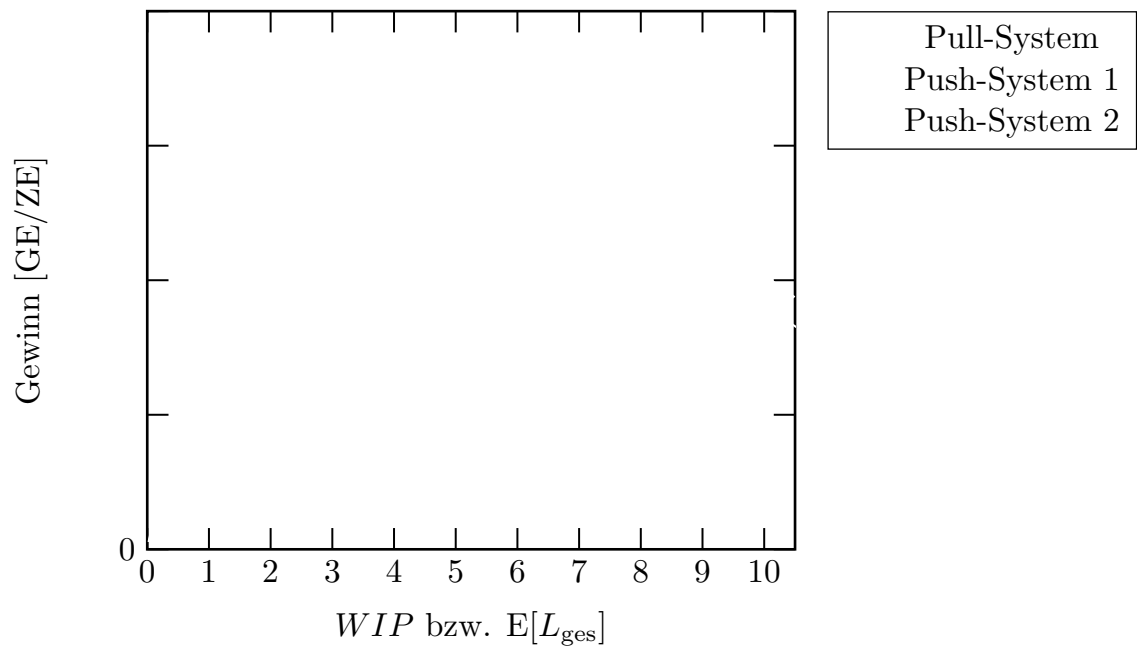
- (c) Betrachten Sie nun das logistische und das ökonomische Verhalten der beiden Systeme im Vergleich.
- i. Skizzieren Sie in der folgenden Abbildung *qualitativ* den prinzipiellen Zusammenhang zwischen dem WIP und dem Durchsatz des Gesamtsystems für die Pull-Produktionssteuerung und die beiden Fälle der Push-Produktionssteuerung und erläutern Sie, wie diese sich zueinander verhalten! (4 P.)



- ii. Gehen Sie nun davon aus, dass der Gewinn G in Geldeinheiten je Zeiteinheit abhängt vom Durchsatz TH und Gesamtbestand im System WIP :

$$G = db \cdot TH - hc \cdot WIP$$

Dabei ist db der Deckungsbeitrag in Geldeinheiten je Mengeneinheit, während hc den Bestandskostensatz in Geldeinheiten je Mengeneinheit und Zeiteinheit darstellt. Skizzieren Sie in der folgenden Abbildung *qualitativ* den prinzipiellen Zusammenhang zwischen dem Bestand im Gesamtsystems auf der einen Seite und dem Gewinn in Geldeinheiten (GE) je Zeiteinheit (ZE) auf der anderen für die Pull-Produktionssteuerung und die beiden Fälle der Push-Produktionssteuerung und erläutern Sie, wie diese sich zueinander verhalten! (4 P.)



2. Ein-Produkt-Lagerhaltung

(24 P.)

- (a) Begründen Sie, wie lange im Falle einer (s, q) -Lagerhaltungspolitik mit kontinuierlicher Bestandsüberwachung sowie einer (r, S) -Lagerhaltungspolitik jeweils der Risikozeitraum ist. (4 P.)

- (b) Geben Sie jeweils die oberen und unteren Schranken der disponiblen Lagerbestände und der Nettolagerbestände einer (s, q) - und einer (r, S) -Lagerhaltungspolitik an. (4 P.)

- (c) Erläutern Sie, ob bei einer (s, q) - sowie eine (r, S) -Lagerhaltungspolitik ein sogenanntes “Defizit” auftreten kann, worin dieses besteht und wie es sich ggf. auswirkt! (4 P.)

- (d) Ein Ein-Produkt-Lager werde mit einer **(r,S)-Lagerhaltungspolitik** betrieben. Der erwartete Bedarf je Tag sei identisch und unabhängig normalverteilt mit $\mu_D = 100$ ME und $\sigma_D = 20$ ME, die Länge der Wiederbeschaffungszeit sei 5 Tage. Der Bestand wird alle 4 Tage überwacht. Das Lager soll bei einem β -Servicegrad von 90% betrieben werden. Ermitteln Sie die Länge des Risikozeitraums, die zulässige Fehlmenge je Bestellzyklus und das erforderliche Bestellniveau S . Geben Sie zudem den implizit ermittelten Sicherheitsbestand an! Was fällt Ihnen an diesem Sicherheitsbestand auf? **Geben Sie bei den Berechnungen die verwendeten Formeln stets zunächst in allgemeiner Form an, so dass Ihr Rechengang inhaltlich nachvollziehbar ist!** (12 P.)

Hinweis: Eine Tabelle mit den erforderlichen standardisierten Fehlmengenerwartungswerten finden Sie am Ende der Klausur!

3. Standortplanung

(15 P.)

(a) Entfernungsmessung in der Ebene

(6 P.)

Erläutern Sie die in der Vorlesung behandelten Metriken, um den Abstand zwischen zwei Punkten $(x_i; y_i)$ und $(x_j; y_j)$ im $\mathbb{R}^2$ zu bestimmen.

(b) **Das Hub-Location-Problem**

(9 P.)

Im Folgenden finden Sie die Ihnen aus der Vorlesung bekannte Modellformulierung für das Hub-Location-Problem:

Indizes und Indexmengen:

$i, j \in V$	Menge aller Knoten
$k, m \in H \subseteq V$	Menge der potentiellen Hubs

Parameter:

c_{ikmj}	Transportkostensatz für den Transport zwischen den Knoten i und j über die Hubs k und m
f_k	transportmengenunabhängige Fixkosten für die Einrichtung eines Hubs an Knoten k
t_{ij}	originäres Transportaufkommen je Periode zwischen den Knoten i und j

Entscheidungsvariablen:

y_k	1, wenn Knoten h als Hub dient, 0 sonst
x_{ikmj}	Anteil des originären Transportaufkommens t_{ij} zwischen den Knoten i und j , der über die Hubs k und m fließt

$$\min K = \sum_{k \in H} f_k \cdot y_k + \sum_{i \in V} \sum_{k \in H} \sum_{m \in H} \sum_{j \in V} t_{ij} \cdot c_{ikmj} \cdot x_{ikmj} \quad (1)$$

u. B. d. R.:

$$\sum_{k \in H} \sum_{m \in H} x_{ikmj} = 1 \quad \forall i, j \in V; i \neq j \quad (2)$$

$$x_{ikmj} \leq y_k \quad \forall i, j \in V \text{ und } \forall k, m \in H \quad (3)$$

$$x_{ikmj} \leq y_m \quad \forall i, j \in V \text{ und } \forall k, m \in H \quad (4)$$

$$y_k \in \{0, 1\} \quad \forall k \in H \quad (5)$$

$$x_{ikmj} \geq 0 \quad \forall i, j \in V \text{ und } \forall k, m \in H \quad (6)$$

- i. Erläutern Sie **stichpunktartig** die Zielfunktion (1) sowie die Nebenbedingungen (2) – (4) der Modellformulierung für das Hub-Location-Problem. (6 P.)

- ii. Welche Bedingung muss hinsichtlich der Kostenstruktur erfüllt sein, damit die Einrichtung eines Hub&Spoke-Systems ökonomisch sinnvoll ist und in welchen Logistik-Systemen tritt diese Bedingung warum auf? (3 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	-2,24	0,012545	-1,48	0,069437	-0,72	0,235762	0,04	0,515953
-2,99	0,001395	-2,23	0,012874	-1,47	0,070781	-0,71	0,238852	0,05	0,519939
-2,98	0,001441	-2,22	0,013209	-1,46	0,072145	-0,70	0,241964	0,06	0,523922
-2,97	0,001489	-2,21	0,013553	-1,45	0,073529	-0,69	0,245097	0,07	0,527903
-2,96	0,001538	-2,20	0,013903	-1,44	0,074934	-0,68	0,248252	0,08	0,531881
-2,95	0,001589	-2,19	0,014262	-1,43	0,076359	-0,67	0,251429	0,09	0,535856
-2,94	0,001641	-2,18	0,014629	-1,42	0,077804	-0,66	0,254627	0,10	0,539828
-2,93	0,001695	-2,17	0,015003	-1,41	0,079270	-0,65	0,257846	0,11	0,543795
-2,92	0,001750	-2,16	0,015386	-1,40	0,080757	-0,64	0,261086	0,12	0,547758
-2,91	0,001807	-2,15	0,015778	-1,39	0,082264	-0,63	0,264347	0,13	0,551717
-2,90	0,001866	-2,14	0,016177	-1,38	0,083793	-0,62	0,267629	0,14	0,555670
-2,89	0,001926	-2,13	0,016586	-1,37	0,085343	-0,61	0,270931	0,15	0,559618
-2,88	0,001988	-2,12	0,017003	-1,36	0,086915	-0,60	0,274253	0,16	0,563559
-2,87	0,002052	-2,11	0,017429	-1,35	0,088508	-0,59	0,277595	0,17	0,567495
-2,86	0,002118	-2,10	0,017864	-1,34	0,090123	-0,58	0,280957	0,18	0,571424
-2,85	0,002186	-2,09	0,018309	-1,33	0,091759	-0,57	0,284339	0,19	0,575345
-2,84	0,002256	-2,08	0,018763	-1,32	0,093418	-0,56	0,287740	0,20	0,579260
-2,83	0,002327	-2,07	0,019226	-1,31	0,095098	-0,55	0,291160	0,21	0,583166
-2,82	0,002401	-2,06	0,019699	-1,30	0,096800	-0,54	0,294599	0,22	0,587064
-2,81	0,002477	-2,05	0,020182	-1,29	0,098525	-0,53	0,298056	0,23	0,590954
-2,80	0,002555	-2,04	0,020675	-1,28	0,100273	-0,52	0,301532	0,24	0,594835
-2,79	0,002635	-2,03	0,021178	-1,27	0,102042	-0,51	0,305026	0,25	0,598706
-2,78	0,002718	-2,02	0,021692	-1,26	0,103835	-0,50	0,308538	0,26	0,602568
-2,77	0,002803	-2,01	0,022216	-1,25	0,105650	-0,49	0,312067	0,27	0,606420
-2,76	0,002890	-2,00	0,022750	-1,24	0,107488	-0,48	0,315614	0,28	0,610261
-2,75	0,002980	-1,99	0,023295	-1,23	0,109349	-0,47	0,319178	0,29	0,614092
-2,74	0,003072	-1,98	0,023852	-1,22	0,111232	-0,46	0,322758	0,30	0,617911
-2,73	0,003167	-1,97	0,024419	-1,21	0,113139	-0,45	0,326355	0,31	0,621720
-2,72	0,003264	-1,96	0,024998	-1,20	0,115070	-0,44	0,329969	0,32	0,625516
-2,71	0,003364	-1,95	0,025588	-1,19	0,117023	-0,43	0,333598	0,33	0,629300
-2,70	0,003467	-1,94	0,026190	-1,18	0,119000	-0,42	0,337243	0,34	0,633072
-2,69	0,003573	-1,93	0,026803	-1,17	0,121000	-0,41	0,340903	0,35	0,636831
-2,68	0,003681	-1,92	0,027429	-1,16	0,123024	-0,40	0,344578	0,36	0,640576
-2,67	0,003793	-1,91	0,028067	-1,15	0,125072	-0,39	0,348268	0,37	0,644309
-2,66	0,003907	-1,90	0,028717	-1,14	0,127143	-0,38	0,351973	0,38	0,648027
-2,65	0,004025	-1,89	0,029379	-1,13	0,129238	-0,37	0,355691	0,39	0,651732
-2,64	0,004145	-1,88	0,030054	-1,12	0,131357	-0,36	0,359424	0,40	0,655422
-2,63	0,004269	-1,87	0,030742	-1,11	0,133500	-0,35	0,363169	0,41	0,659097
-2,62	0,004396	-1,86	0,031443	-1,10	0,135666	-0,34	0,366928	0,42	0,662757
-2,61	0,004527	-1,85	0,032157	-1,09	0,137857	-0,33	0,370700	0,43	0,666402
-2,60	0,004661	-1,84	0,032884	-1,08	0,140071	-0,32	0,374484	0,44	0,670031
-2,59	0,004799	-1,83	0,033625	-1,07	0,142310	-0,31	0,378280	0,45	0,673645
-2,58	0,004940	-1,82	0,034380	-1,06	0,144572	-0,30	0,382089	0,46	0,677242
-2,57	0,005085	-1,81	0,035148	-1,05	0,146859	-0,29	0,385908	0,47	0,680822
-2,56	0,005234	-1,80	0,035930	-1,04	0,149170	-0,28	0,389739	0,48	0,684386
-2,55	0,005386	-1,79	0,036727	-1,03	0,151505	-0,27	0,393580	0,49	0,687933
-2,54	0,005543	-1,78	0,037538	-1,02	0,153864	-0,26	0,397432	0,50	0,691462
-2,53	0,005703	-1,77	0,038364	-1,01	0,156248	-0,25	0,401294	0,51	0,694974
-2,52	0,005868	-1,76	0,039204	-1,00	0,158655	-0,24	0,405165	0,52	0,698468
-2,51	0,006037	-1,75	0,040059	-0,99	0,161087	-0,23	0,409046	0,53	0,701944
-2,50	0,006210	-1,74	0,040930	-0,98	0,163543	-0,22	0,412936	0,54	0,705401
-2,49	0,006387	-1,73	0,041815	-0,97	0,166023	-0,21	0,416834	0,55	0,708840
-2,48	0,006569	-1,72	0,042716	-0,96	0,168528	-0,20	0,420740	0,56	0,712260
-2,47	0,006756	-1,71	0,043633	-0,95	0,171056	-0,19	0,424655	0,57	0,715661
-2,46	0,006947	-1,70	0,044565	-0,94	0,173609	-0,18	0,428576	0,58	0,719043
-2,45	0,007143	-1,69	0,045514	-0,93	0,176186	-0,17	0,432505	0,59	0,722405
-2,44	0,007344	-1,68	0,046479	-0,92	0,178786	-0,16	0,436441	0,60	0,725747
-2,43	0,007549	-1,67	0,047460	-0,91	0,181411	-0,15	0,440382	0,61	0,729069
-2,42	0,007760	-1,66	0,048457	-0,90	0,184060	-0,14	0,444330	0,62	0,732371
-2,41	0,007976	-1,65	0,049471	-0,89	0,186733	-0,13	0,448283	0,63	0,735653
-2,40	0,008198	-1,64	0,050503	-0,88	0,189430	-0,12	0,452242	0,64	0,738914
-2,39	0,008424	-1,63	0,051551	-0,87	0,192150	-0,11	0,456205	0,65	0,742154
-2,38	0,008656	-1,62	0,052616	-0,86	0,194895	-0,10	0,460172	0,66	0,745373
-2,37	0,008894	-1,61	0,053699	-0,85	0,197663	-0,09	0,464144	0,67	0,748571
-2,36	0,009137	-1,60	0,054799	-0,84	0,200454	-0,08	0,468119	0,68	0,751748
-2,35	0,009387	-1,59	0,055917	-0,83	0,203269	-0,07	0,472097	0,69	0,754903
-2,34	0,009642	-1,58	0,057053	-0,82	0,206108	-0,06	0,476078	0,70	0,758036
-2,33	0,009903	-1,57	0,058208	-0,81	0,208970	-0,05	0,480061	0,71	0,761148
-2,32	0,010170	-1,56	0,059380	-0,80	0,211855	-0,04	0,484047	0,72	0,764238
-2,31	0,010444	-1,55	0,060571	-0,79	0,214764	-0,03	0,488034	0,73	0,767305
-2,30	0,010724	-1,54	0,061780	-0,78	0,217695	-0,02	0,492022	0,74	0,770350
-2,29	0,011011	-1,53	0,063008	-0,77	0,220650	-0,01	0,496011	0,75	0,773373
-2,28	0,011304	-1,52	0,064255	-0,76	0,223627	0,00	0,500000	0,76	0,776373
-2,27	0,011604	-1,51	0,065522	-0,75	0,226627	0,01	0,503989	0,77	0,779350
-2,26	0,011911	-1,50	0,066807	-0,74	0,229650	0,02	0,507978	0,78	0,782305
-2,25	0,012224	-1,49	0,068112	-0,73	0,232695	0,03	0,511966	0,79	0,785236

0,80	0,788145	1,25	0,894350	1,70	0,955435	2,15	0,984222	2,60	0,995339
0,81	0,791030	1,26	0,896165	1,71	0,956367	2,16	0,984614	2,61	0,995473
0,82	0,793892	1,27	0,897958	1,72	0,957284	2,17	0,984997	2,62	0,995604
0,83	0,796731	1,28	0,899727	1,73	0,958185	2,18	0,985371	2,63	0,995731
0,84	0,799546	1,29	0,901475	1,74	0,959070	2,19	0,985738	2,64	0,995855
0,85	0,802337	1,30	0,903200	1,75	0,959941	2,20	0,986097	2,65	0,995975
0,86	0,805105	1,31	0,904902	1,76	0,960796	2,21	0,986447	2,66	0,996093
0,87	0,807850	1,32	0,906582	1,77	0,961636	2,22	0,986791	2,67	0,996207
0,88	0,810570	1,33	0,908241	1,78	0,962462	2,23	0,987126	2,68	0,996319
0,89	0,813267	1,34	0,909877	1,79	0,963273	2,24	0,987455	2,69	0,996427
0,90	0,815940	1,35	0,911492	1,80	0,964070	2,25	0,987776	2,70	0,996533
0,91	0,818589	1,36	0,913085	1,81	0,964852	2,26	0,988089	2,71	0,996636
0,92	0,821214	1,37	0,914657	1,82	0,965620	2,27	0,988396	2,72	0,996736
0,93	0,823814	1,38	0,916207	1,83	0,966375	2,28	0,988696	2,73	0,996833
0,94	0,826391	1,39	0,917736	1,84	0,967116	2,29	0,988989	2,74	0,996928
0,95	0,828944	1,40	0,919243	1,85	0,967843	2,30	0,989276	2,75	0,997020
0,96	0,831472	1,41	0,920730	1,86	0,968557	2,31	0,989556	2,76	0,997110
0,97	0,833977	1,42	0,922196	1,87	0,969258	2,32	0,989830	2,77	0,997197
0,98	0,836457	1,43	0,923641	1,88	0,969946	2,33	0,990097	2,78	0,997282
0,99	0,838913	1,44	0,925066	1,89	0,970621	2,34	0,990358	2,79	0,997365
1,00	0,841345	1,45	0,926471	1,90	0,971283	2,35	0,990613	2,80	0,997445
1,01	0,843752	1,46	0,927855	1,91	0,971933	2,36	0,990863	2,81	0,997523
1,02	0,846136	1,47	0,929219	1,92	0,972571	2,37	0,991106	2,82	0,997599
1,03	0,848495	1,48	0,930563	1,93	0,973197	2,38	0,991344	2,83	0,997673
1,04	0,850830	1,49	0,931888	1,94	0,973810	2,39	0,991576	2,84	0,997744
1,05	0,853141	1,50	0,933193	1,95	0,974412	2,40	0,991802	2,85	0,997814
1,06	0,855428	1,51	0,934478	1,96	0,975002	2,41	0,992024	2,86	0,997882
1,07	0,857690	1,52	0,935745	1,97	0,975581	2,42	0,992240	2,87	0,997948
1,08	0,859929	1,53	0,936992	1,98	0,976148	2,43	0,992451	2,88	0,998012
1,09	0,862143	1,54	0,938220	1,99	0,976705	2,44	0,992656	2,89	0,998074
1,10	0,864334	1,55	0,939429	2,00	0,977250	2,45	0,992857	2,90	0,998134
1,11	0,866500	1,56	0,940620	2,01	0,977784	2,46	0,993053	2,91	0,998193
1,12	0,868643	1,57	0,941792	2,02	0,978308	2,47	0,993244	2,92	0,998250
1,13	0,870762	1,58	0,942947	2,03	0,978822	2,48	0,993431	2,93	0,998305
1,14	0,872857	1,59	0,944083	2,04	0,979325	2,49	0,993613	2,94	0,998359
1,15	0,874928	1,60	0,945201	2,05	0,979818	2,50	0,993790	2,95	0,998411
1,16	0,876976	1,61	0,946301	2,06	0,980301	2,51	0,993963	2,96	0,998462
1,17	0,879000	1,62	0,947384	2,07	0,980774	2,52	0,994132	2,97	0,998511
1,18	0,881000	1,63	0,948449	2,08	0,981237	2,53	0,994297	2,98	0,998559
1,19	0,882977	1,64	0,949497	2,09	0,981691	2,54	0,994457	2,99	0,998605
1,20	0,884930	1,65	0,950529	2,10	0,982136	2,55	0,994614	3,00	0,998650
1,21	0,886861	1,66	0,951543	2,11	0,982571	2,56	0,994766		
1,22	0,888768	1,67	0,952540	2,12	0,982997	2,57	0,994915		
1,23	0,890651	1,68	0,953521	2,13	0,983414	2,58	0,995060		
1,24	0,892512	1,69	0,954486	2,14	0,983823	2,59	0,995201		

2 Standardisierte Fehlmengenerwartungswerte

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

$$f_X(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}. \quad (7)$$

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:

$$\begin{aligned} \Phi^1(v) &= E[\max(0, X - v)] \\ &= \int_{x=-\infty}^{x=\infty} \max(0, x - v) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \\ &= \int_{x=v}^{x=\infty} (x - v) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \end{aligned} \quad (8)$$

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

-0,70	0,842879	0,05	0,374441	0,80	0,120207	1,55	0,026124	2,30	0,003662
-0,69	0,835315	0,06	0,369660	0,81	0,118103	1,56	0,025525	2,31	0,003556
-0,68	0,827781	0,07	0,364919	0,82	0,116028	1,57	0,024937	2,32	0,003453
-0,67	0,820280	0,08	0,360218	0,83	0,113981	1,58	0,024360	2,33	0,003352
-0,66	0,812810	0,09	0,355557	0,84	0,111962	1,59	0,023796	2,34	0,003255
-0,65	0,805372	0,10	0,350935	0,85	0,109972	1,60	0,023242	2,35	0,003159
-0,64	0,797967	0,11	0,346353	0,86	0,108009	1,61	0,022699	2,36	0,003067
-0,63	0,790594	0,12	0,341811	0,87	0,106074	1,62	0,022168	2,37	0,002977
-0,62	0,783254	0,13	0,337309	0,88	0,104166	1,63	0,021647	2,38	0,002889
-0,61	0,775947	0,14	0,332846	0,89	0,102285	1,64	0,021137	2,39	0,002804
-0,60	0,768673	0,15	0,328422	0,90	0,100431	1,65	0,020637	2,40	0,002720
-0,59	0,761432	0,16	0,324038	0,91	0,098604	1,66	0,020147	2,41	0,002640
-0,58	0,754225	0,17	0,319693	0,92	0,096803	1,67	0,019668	2,42	0,002561
-0,57	0,747051	0,18	0,315388	0,93	0,095028	1,68	0,019198	2,43	0,002484
-0,56	0,739912	0,19	0,311122	0,94	0,093279	1,69	0,018738	2,44	0,002410
-0,55	0,732806	0,20	0,306895	0,95	0,091556	1,70	0,018288	2,45	0,002337
-0,54	0,725735	0,21	0,302707	0,96	0,089858	1,71	0,017847	2,46	0,002267
-0,53	0,718698	0,22	0,298558	0,97	0,088185	1,72	0,017415	2,47	0,002199
-0,52	0,711696	0,23	0,294448	0,98	0,086537	1,73	0,016992	2,48	0,002132
-0,51	0,704729	0,24	0,290377	0,99	0,084914	1,74	0,016579	2,49	0,002067
-0,50	0,697797	0,25	0,286345	1,00	0,083315	1,75	0,016174	2,50	0,002004
-0,49	0,690900	0,26	0,282351	1,01	0,081741	1,76	0,015777	2,51	0,001943
-0,48	0,684038	0,27	0,278396	1,02	0,080190	1,77	0,015390	2,52	0,001883
-0,47	0,677212	0,28	0,274479	1,03	0,078664	1,78	0,015010	2,53	0,001826
-0,46	0,670422	0,29	0,270601	1,04	0,077160	1,79	0,014639	2,54	0,001769
-0,45	0,663667	0,30	0,266761	1,05	0,075680	1,80	0,014276	2,55	0,001715
-0,44	0,656949	0,31	0,262959	1,06	0,074223	1,81	0,013920	2,56	0,001662
-0,43	0,650267	0,32	0,259196	1,07	0,072789	1,82	0,013573	2,57	0,001610
-0,42	0,643621	0,33	0,255470	1,08	0,071377	1,83	0,013233	2,58	0,001560
-0,41	0,637011	0,34	0,251782	1,09	0,069987	1,84	0,012900	2,59	0,001511
-0,40	0,630439	0,35	0,248131	1,10	0,068620	1,85	0,012575	2,60	0,001464
-0,39	0,623903	0,36	0,244518	1,11	0,067274	1,86	0,012257	2,61	0,001418
-0,38	0,617404	0,37	0,240943	1,12	0,065949	1,87	0,011946	2,62	0,001373
-0,37	0,610943	0,38	0,237404	1,13	0,064646	1,88	0,011642	2,63	0,001330
-0,36	0,604518	0,39	0,233903	1,14	0,063365	1,89	0,011345	2,64	0,001288
-0,35	0,598131	0,40	0,230439	1,15	0,062104	1,90	0,011054	2,65	0,001247
-0,34	0,591782	0,41	0,227011	1,16	0,060863	1,91	0,010770	2,66	0,001207
-0,33	0,585470	0,42	0,223621	1,17	0,059643	1,92	0,010493	2,67	0,001169
-0,32	0,579196	0,43	0,220267	1,18	0,058443	1,93	0,010222	2,68	0,001132
-0,31	0,572959	0,44	0,216949	1,19	0,057263	1,94	0,009957	2,69	0,001095
-0,30	0,566761	0,45	0,213667	1,20	0,056102	1,95	0,009698	2,70	0,001060
-0,29	0,560601	0,46	0,210422	1,21	0,054961	1,96	0,009445	2,71	0,001026
-0,28	0,554479	0,47	0,207212	1,22	0,053840	1,97	0,009198	2,72	0,000993
-0,27	0,548396	0,48	0,204038	1,23	0,052737	1,98	0,008957	2,73	0,000961
-0,26	0,542351	0,49	0,200900	1,24	0,051653	1,99	0,008721	2,74	0,000929
-0,25	0,536345	0,50	0,197797	1,25	0,050587	2,00	0,008491	2,75	0,000899
-0,24	0,530377	0,51	0,194729	1,26	0,049539	2,01	0,008266	2,76	0,000870
-0,23	0,524448	0,52	0,191696	1,27	0,048510	2,02	0,008046	2,77	0,000841
-0,22	0,518558	0,53	0,188698	1,28	0,047499	2,03	0,007832	2,78	0,000814
-0,21	0,512707	0,54	0,185735	1,29	0,046505	2,04	0,007623	2,79	0,000787
-0,20	0,506895	0,55	0,182806	1,30	0,045528	2,05	0,007418	2,80	0,000761
-0,19	0,501122	0,56	0,179912	1,31	0,044568	2,06	0,007219	2,81	0,000736
-0,18	0,495388	0,57	0,177051	1,32	0,043626	2,07	0,007024	2,82	0,000712
-0,17	0,489693	0,58	0,174225	1,33	0,042700	2,08	0,006835	2,83	0,000688
-0,16	0,484038	0,59	0,171432	1,34	0,041791	2,09	0,006649	2,84	0,000665
-0,15	0,478422	0,60	0,168673	1,35	0,040898	2,10	0,006468	2,85	0,000643
-0,14	0,472846	0,61	0,165947	1,36	0,040020	2,11	0,006292	2,86	0,000621
-0,13	0,467309	0,62	0,163254	1,37	0,039159	2,12	0,006120	2,87	0,000600
-0,12	0,461811	0,63	0,160594	1,38	0,038314	2,13	0,005952	2,88	0,000580
-0,11	0,456353	0,64	0,157967	1,39	0,037483	2,14	0,005788	2,89	0,000561
-0,10	0,450935	0,65	0,155372	1,40	0,036668	2,15	0,005628	2,90	0,000542
-0,09	0,445557	0,66	0,152810	1,41	0,035868	2,16	0,005472	2,91	0,000523
-0,08	0,440218	0,67	0,150280	1,42	0,035083	2,17	0,005320	2,92	0,000506
-0,07	0,434919	0,68	0,147781	1,43	0,034312	2,18	0,005172	2,93	0,000488
-0,06	0,429660	0,69	0,145315	1,44	0,033555	2,19	0,005028	2,94	0,000472
-0,05	0,424441	0,70	0,142879	1,45	0,032813	2,20	0,004887	2,95	0,000455
-0,04	0,419261	0,71	0,140475	1,46	0,032085	2,21	0,004750	2,96	0,000440
-0,03	0,414122	0,72	0,138102	1,47	0,031370	2,22	0,004616	2,97	0,000425
-0,02	0,409022	0,73	0,135760	1,48	0,030669	2,23	0,004486	2,98	0,000410
-0,01	0,403962	0,74	0,133448	1,49	0,029981	2,24	0,004358	2,99	0,000396
0,00	0,398942	0,75	0,131167	1,50	0,029307	2,25	0,004235	3,00	0,000382
0,01	0,393962	0,76	0,128916	1,51	0,028645	2,26	0,004114		
0,02	0,389022	0,77	0,126694	1,52	0,027996	2,27	0,003996		
0,03	0,384122	0,78	0,124503	1,53	0,027360	2,28	0,003882		
0,04	0,379261	0,79	0,122340	1,54	0,026736	2,29	0,003770		