Technische Grundlage – Pneumatische Pulverförderung B-101 → B-201

Basic Engineering für Piping, Layout und Verfahrenstechnik (Beispielprojekt, KI-generiert)

Projektdaten	
Projekt	Beispielprojekt Piping / Layout / P&ID
Titel	Pneumatische Pulverförderung B-101 → B-201
Anlage	Pulvererzeugung – Chemieindustrie
Projekt-Nr.	PRJ-2026-PC-01
Auftraggeber	Beispiel Chemie GmbH
Ersteller	KI-Engineering (Claude)
Datum	09.09.2026
Revision	A – Konzept / Basic Engineering – zur Prüfung

Dokumentdaten	
Dokument-Nr.	DOC-1001-001
Revision	A
Datum	09.09.2026
Status	Konzept – zur Prüfung
Dokumentart	Technische Grundlage / Basic-Engineering-Dokumentation
Fachgebiete	Piping, Layout, Verfahrenstechnik, PLT (Grundlagen), Druckgeräte
Sprache	Deutsch
Format	A4 (Rohrleitungsliste A4 quer)

Hinweis: Alle Zahlenwerte sind Auslegungsannahmen für ein Beispielprojekt und vor Ausführung projektspezifisch zu bestätigen. Dokumentstatus „Konzept – zur Prüfung" – nicht zur Ausführung freigegeben.

Zugehörige Dokumente und Zeichnungen

Dokument-Nr.	Bezeichnung	Art	Rev.
LAY-1001-001	Aufstellungsplan (Draufsicht + Ansicht)	Zeichnung	A
ISO-1001-001	Isometrie 150-PC-1001-A1	Zeichnung	A
PID-1001-001	R&I-Fließbild (DIN EN ISO 10628 / DIN EN 62424)	Zeichnung	A
3D-Modell	Three.js-Viewer (3D_Modell_Viewer.html)	Modell	A
DOC-1001-001	Technische Grundlage (dieses Dokument)	Dokument	A

Inhalt

Kapitelübersicht mit Seitenzahlen (Seitenzahlen werden beim PDF-Export aus dem gerenderten Dokument übernommen).

Kapitel		Seite
1	Aufgabenstellung und Interpretation	3
2	Verfahrenstechnisches Konzept	5
3	Layout und Trassierung	8
4	Apparateliste	11
5	Rohrleitungsliste	13
6	Rohrklasse A1	14
7	Armaturenliste	16
8	PLT-Stellenliste	17
9	Anschlusspunktliste	19
10	Halterungsliste und Stützweiten	20
11	Berechnungs- und Prüfgrundlagen	22
12	Vorfertigung und Montage	26
13	Nächste Schritte Detail Engineering	30
14	Anhang	31

1 Aufgabenstellung und Interpretation

Gegenstand dieser Technischen Grundlage ist die pneumatische Förderung eines Pulverprodukts aus dem liegenden Sende-/Pufferbehälter B-101 (Gebäude A, Pulvererzeugung) in den Empfangsbehälter/Silo B-201 (Gebäude B, Pulverübernahme/Abfüllung). Die Aufgabenstellung beschreibt den Leitungsverlauf der Hauptleitung 150-PC-1001-A1 in sieben Schritten. Die folgende Tabelle stellt jedem Schritt die Umsetzung im Modell (build/model.json) gegenüber; alle Koordinaten sind Achsmaße in m (X = Ost, Y = Nord, Z = Höhe über ±0,000).

1.1 Leitungsverlauf gemäß Aufgabenstellung und Umsetzung

Schritt	Vorgabe (Aufgabenstellung)	Umsetzung im Modell
1	Start am Flansch N3 des Sendebehälters B-101 (Oberaustrag über innenliegendes Steigrohr)	Knoten P0 = Flanschfläche N3 (DN150) bei X = 52,000, Y = 8,000, Z = +8,400; Stutzenrichtung +Z. Schenkel P0–E1 senkrecht nach oben, L = 2,60 m, mit Absperrkugelhahn HV-1001, Messstelle PT-1001 und Spülanschluss DN25.
2	Leitung wird vom Behälter weggeführt	Bogen E1 auf +11,000 dreht nach Nord (+Y), Schenkel E1–E2 L = 6,00 m – die Leitung verlässt den Behälterbereich (Behälterachse Y = 8,000) und erreicht die Trassenachse Y = 14,000.
3	„Knick“ in Richtung Empfangsbehälter	Bogen E2 bei X = 52,000 / Y = 14,000 / +11,000 dreht nach Ost (+X); Schenkel E2–E3 L = 10,00 m unter der Gebäudedecke von Gebäude A bis zur Wanddurchführung X = 60,000.
4	Leitung geht nach unten auf Rohrbrückenniveau	Bogen E3 (X = 62,000) → Fallrohr E3–E4 von +11,000 auf +5,500 (L = 5,50 m), vertikal geführt an der ersten Stütze der Rohrbrücke RB-01 (X = 62,000).
5	Überquerung der Werkstraße auf der Rohrbrücke	Schenkel E4–E5 L = 30,50 m auf +5,500 über RB-01 (Stützen X = 62,000, 68,000, 80,000, 86,000; Felder 6,0 / 12,0 / 6,0 m), OK Träger +5,300, lichte Höhe über Straße 4,70 m. Rohrweiche W-201 bei X = 89,500 mit Abzweig 150-PC-1003-A1 (Zukunft B-202). Wanddurchführung Gebäude B bei X = 88,000.
6	Anschluss am Empfangsbehälter B-201	Bogen E5 (X = 92,500) → Steigrohr E5–E6 L = 3,00 m auf +8,500 mit Messstelle PT-1002, Bogen E6 nach Ost, Schenkel E6–P1 L = 2,50 m → Knoten P1 = Flanschfläche N1 (DN150, Richtung -X) bei X = 95,000 / Y = 14,000 / +8,500; seitlicher tangentialer Eintritt in den Silozylinder.
7	Übernahme und Austrag des Pulvers	Abscheidung des Fördergases im Filteraufsatz F-201 (Reingas → 200-N2-2003-A1 → Kreislaufgebläse V-201); Produktaustrag über Stutzen N3 (DN300) in die Zellenradschleuse Z-201 (druckstoßfest, Ex-Entkopplung) → Fallleitung 300-PC-2006-A1 → Abfüllung / Big-Bag-Station (TP-06).

1.2 Annahmen und Interpretation

Die Aufgabenstellung lässt verfahrenstechnische Details offen. Folgende Annahmen wurden getroffen und sind in allen Unterlagen (Layout, Isometrie, R&I, 3D-Modell) einheitlich umgesetzt:

Thema	Annahme / Festlegung	Begründung / Quelle
Behälterlänge B-101	L_ges = 50,0 m (zyl. 48,4 m + 2 Klöpperböden), D_i = 3.200 mm, V ≈ 400 m³, 6 Sättel	Vorgabe der Aufgabenstellung (≈ 50 m); ungewöhnlich lang für einen Druckbehälter, Statik/Sattelabstände durch Hersteller

Thema	Annahme / Festlegung	Begründung / Quelle
Austragsprinzip	Oberaustrag: Fluidisierboden (N2, Stutzen N2) fluidisiert das Pulver, das innenliegende Steigrohr führt es zum Stutzen N3 oben; Prinzip Druckgefäßförderer mit Oberaustrag	Vermeidet Bodenaustrag unter dem liegenden Behälter (Bauhöhe) und erlaubt gleichmäßige Entnahme
Medium	Pulverprodukt (organische Feinchemikalie) in Stickstoff-Förderstrom; ρ_S ≈ 600 kg/m³, d50 ≈ 50 µm; St 1 (Kst ≈ 150 bar·m/s), brennbarer Staub	Annahme für Feinchemikalie; Produktdaten (Staubexplosionskennwerte, Abrasivität, Hygroskopie) projektspezifisch zu bestätigen
Inertisierung	Stickstoff N2 (Inertisierung, O2 < 5 Vol.-%); geschlossener Gaskreislauf über V-201 mit O2-Überwachung QIRA+ 2021	Brennbarer Staub St 1 in Zone 20 → Vermeidung wirksamer Zündquellen durch Inertisierung (TRGS 720–722)
Förderprinzip	Pneumatische Druckförderung (Dünnstrom) mit N2 im geschlossenen Kreislauf, 10,0 t/h, DN150	Dünnstromförderung mit hohen Gasgeschwindigkeiten → Verschleißbögen R = 5×DN, Abrasionszuschlag 3,0 mm
Koordinaten / Trassenachse	Leitung auf Trassenachse Y = 14,000; Rohrbrücke RB-01 über Werkstraße X 70…78	Kollisionsfreie Führung über die Straße, gemeinsame Rohrbrücke mit Versorgungsleitungen
Betriebsweise	Diskontinuierlich (Batch): B-101 wird drucklos befüllt, dann inertisiert, unter Druck gesetzt und leergefördert	Klassischer Druckgefäßförderer-Zyklus; Zykluszeit und Chargengröße im Detail Engineering

> **Hinweis zur Interpretation:** „Weggeführt vom Behälter“ wurde als Richtungswechsel nach Nord (quer zur Behälterachse) interpretiert, um Konflikte mit den weiteren Behälterstutzen (Mannloch N5, Sicherheitsventil N6, Entspannung N4) auf der Behälteroberseite zu vermeiden. Der „Knick“ ist der Bogen E2, ab dem die Leitung parallel zur Behälterachse nach Ost Richtung Gebäude B läuft.

2 Verfahrenstechnisches Konzept

2.1 Prozessbeschreibung

Das im Sprühtrockner/Zyklon erzeugte Pulver gelangt über die Zellenradschleuse Z-100 in den liegenden Sende-/Pufferbehälter B-101 (V ≈ 400 m³). B-101 arbeitet als Druckgefäßförderer mit Oberaustrag: Über den Fluidisierboden (Stutzen N2) wird das Pulver mit Stickstoff fluidisiert, gleichzeitig wird der Gasraum (Stutzen N9) mit N2 auf den Förderdruck gebracht. Das fluidisierte Pulver steigt durch das innenliegende Steigrohr zum Stutzen N3 und wird als Dünnstrom in der Förderleitung 150-PC-1001-A1 (DN150, ≈ 60 m Achslänge) über die Rohrbrücke RB-01 in den Silo B-201 gefördert.

Im Silo B-201 trennt der Filteraufsatz F-201 (Patronenfilter, Jet-Abreinigung mit N2) das Fördergas vom Produkt. Das Reingas wird über 200-N2-2003-A1 vom Kreislaufgebläse V-201 angesaugt und als Fördergas über 080-N2-2010-A1 / 080-N2-2001-A1 nach B-101 zurückgeführt (geschlossener Kreislauf, Verluste werden aus dem N2-Werksnetz über TP-01 ergänzt). Der Sauerstoffgehalt des Kreislaufgases wird mit QIRA+ 2021 überwacht. Der Austrag aus B-201 erfolgt über die Zellenradschleuse Z-201 in die Fallleitung 300-PC-2006-A1 zur Abfüllung (Big-Bag-Station, TP-06). Die Rohrweiche W-201 auf der Rohrbrücke erlaubt die spätere Anbindung eines zweiten Silos B-202 (TP-04).

Die Gasgeschwindigkeiten (15 m/s am Leitungsanfang, 27 m/s am Leitungsende) beziehen sich auf den jeweiligen Betriebszustand entlang der Leitung (Druckabfall bei Expansion des Fördergases). Die Druckverlust- und Förderrechnung der Strecke ist im Detail Engineering mit dem Lieferanten des Fördersystems zu bestätigen; die hier genannten Werte sind Auslegungsannahmen.

2.2 Auslegungsdaten

Größe	Wert	Einheit
Medium	Pulverprodukt (organische Feinchemikalie) in Stickstoff-Förderstrom	
Schüttdichte ρ_S	600	kg/m³
Korngröße d50	50	µm
Staubexplosionsklasse	St 1 (Kst ≈ 150 bar·m/s), brennbarer Staub	
Ex-Zonen	Zone 20 innen (Behälter/Leitung), Zone 22 außen	
Förderprinzip	Pneumatische Druckförderung (Dünnstrom) mit N2 im geschlossenen Kreislauf	
Förderleistung	10,0	t/h
Fördergas	Stickstoff N2 (Inertisierung, O2 < 5 Vol.-%)	
Fördergasmenge	1.800	Nm³/h
Gasgeschwindigkeit Leitungsanfang	15,0	m/s
Gasgeschwindigkeit Leitungsende	27,0	m/s
Betriebsdruck (max.)	1,2	bar(g)
Betriebstemperatur	40	°C
Zulässiger Druck PS	4,0 / −0,1	bar(g)
Zulässige Temperatur TS	−10 … +80	°C
Prüfdruck (hydrostatisch)	6,0	bar(g)
Werkstoff	1.4404 (X2CrNiMo17-12-2) / 1.4571	

Größe	Wert	Einheit
Rohrklasse / Druckstufe	A1 / PN16	
Korrosionszuschlag c1	0,0	mm
Verschleißzuschlag c2 (Abrasion)	3,0	mm
E-Modul (1.4404)	193.000	MPa
Wärmeausdehnungskoeffizient α	$16{,}5 \cdot 10^{-6}$	1/K
Zulässige Spannung f (80 °C)	127,0	MPa
Isolierung / Begleitheizung	keine (Begleitheizung nicht erforderlich)	
Farbkennzeichnung	DIN 2403 Gruppe 5 (nicht brennbare Gase, schwarz) + Zusatzschild „Pulver/Produkt“, Fließrichtungspfeile	
Erdung / Potentialausgleich	Potentialausgleich an allen Flanschverbindungen (Erdungslaschen), R < 10^6 Ω (TRGS 727)	

2.3 Batch-Ablauf (Förderzyklus)

Die Förderung erfolgt diskontinuierlich in sechs Schritten. Armaturen- und PLT-Bezeichnungen entsprechen dem R&I-Fließbild PID-1001-001, der Armaturenliste (Kap. 7) und der PLT-Stellenliste (Kap. 8).

Schritt	Bezeichnung	Ablauf / Armaturen	Überwachung / PLT
1	Befüllen B-101	B-101 drucklos (atmosphärisch, Entspannungsleitung über HV-2006/F-101 offen); Produktzulauf über Zellenradschleuse Z-100 (Stutzen N1, DN300) aus Sprühtrockner/Zyklon.	LIRA− 1011 (Füllstand), PIRA+ 1012 (Behälterdruck ≈ 0)
2	Inertisieren	Z-100 stopp, HV-2006 zu. N2-Spülung des Gasraums über N9 (HV-2003) bzw. Fluidisierboden (HV-2002) mit Verdrängungs-/Druckwechselspülung; Spülgas über F-101 nach 200-PA-2007-A1 (Wäscher).	QIRA+ 2021 im Kreislaufgas < 5 Vol.-% O2 als Freigabebedingung
3	Druckaufbau	HV-2003 auf: N2 aus 080-N2-2001-A1 (Vordruck PCV-2001 3,5 bar(g)) in den Gasraum N9; Förderdruck ≈ 1,2 bar(g) (Überwachung PIRA+ 1012, Vordruckregelung PIRC 2001 / PCV-2001); HV-1001 bleibt geschlossen.	PIRC 2001 (Sollwert), PIRA+ 1012 (Behälterdruck, Alarm hoch), PSV-1001 als Absicherung
4	Fördern	HV-1001 auf; Fluidisierung über HV-2002 (Stutzen N2); Fördergasmenge FIRC 2002 ≈ 1.800 Nm³/h (FCV-2002); Pulver strömt über das Steigrohr und N3 in 150-PC-1001-A1 nach B-201; Reingas über F-201 → V-201 → Kreislauf.	PIRA+ 1001 (Leitungsanfang, Verstopfung), PIR 1002 (Leitungsende, Δp), LIRA− 1011 (Förderende), LIRA+ 2011 / LSA++ 2012 (B-201)
5	Leerblasen / Spülen	Bei LIRA− 1011 tief: HV-2002 zu, HV-1001 bleibt kurzzeitig offen; Spülung der Förderleitung mit N2 über HV-2004 / 025-N2-2004-A1 (Spülanschluss im Steigrohr), bis PIRA+ 1001 ≈ PIR 1002 (Leitung frei); danach HV-1001 zu.	PIRA+ 1001, PIR 1002, ZSO/ZSC 1001
6	Entspannen	HV-2003 zu; Entspannung von B-101 über HV-2006 und Entspannungsfilter F-101 in 200-PA-2007-A1 (TP-03 Abluft/Wäscher) bis atmosphärischer Druck; Freigabe für den nächsten Befüllvorgang.	PIRA+ 1012 → 0 bar(g), Z-100 Freigabe erst bei drucklosem Behälter

2.4 Verriegelungen

Nr.	Auslöser	Wirkung	Schutzziel
I-1	LSA++ 2012 (Überfüllsicherung B-201, SIL 1) spricht an	HV-1001 schließt (federschließend), HV-2002 zu, FCV-2002 zu → Förderung stopp	Überfüllung B-201 / Filter F-201 verhindern
I-2	QIRA+ 2021: O2 > 5 Vol.-% im Kreislaufgas	Förderung stopp (HV-1001 zu, V-201 aus), Nachinertisierung mit N2, Freigabe erst nach Unterschreiten des Grenzwerts	Explosionsschutz: Inertisierung als Schutzmaßnahme (Zone 20)
I-3	PIRA+ 1001 hoch (Förderdruck Leitungsanfang, Verstopfungsverdacht)	Fluidisierung HV-2002 zu, Spülung HV-2004 auf (Leerblasen); bei anhaltend hohem Druck HV-1001 zu und Alarm	Verstopfung der Förderleitung / Überdruck vermeiden
I-4	PIRA+ 1012 hoch bzw. PIRA± 2041 hoch/tief	HV-2003 zu (Druckaufbau stopp) bzw. Förderung stopp; mechanische Absicherung über PSV-1001 (4,0 bar(g)) und PSV-2001 (+0,5/−0,1 bar(g))	Druckbegrenzung B-101 / B-201
I-5	ZSO/ZSC 1001 und 2051 (Endlagen HV-1001 / W-201) nicht plausibel	Förderfreigabe wird verweigert; W-201 darf nur bei geschlossenem HV-1001 umgestellt werden	Fehlleitung / Umstellen unter Last vermeiden

> Die Verriegelungen I-1 bis I-3 sind die in der Aufgabenstellung geforderten Kernverriegelungen; I-4 und I-5 ergänzen den Druck- und Plausibilitätsschutz. Die SIL-Einstufung (LSA++ 2012 als SIL-1-Kreis) ist im Detail Engineering durch eine Risikoanalyse (z. B. Risikograph nach IEC 61511) zu bestätigen.

2.5 Explosionsschutz

Aspekt	Festlegung
Zoneneinteilung	Zone 20 innen (Behälter/Leitung), Zone 22 außen – Innenräume von B-101, Förderleitung, B-201 und F-201 dauerhaft mit brennbarem Staub (Zone 20); Umgebung der Zellenradschleusen, Filterabreinigung und Abfüllung Zone 22
Staubkennwerte	St 1 (Kst ≈ 150 bar·m/s), brennbarer Staub; Mindestzündenergie, Glimmtemperatur und Zündtemperatur der Staubwolke sind produktspezifisch zu bestimmen (Sicherheitsdatenblatt / Prüfbericht)
Primäre Schutzmaßnahme	Inertisierung mit N2 (O2 < 5 Vol.-%), Überwachung QIRA+ 2021, Verriegelung I-2; geschlossener Gaskreislauf über V-201 minimiert N2-Verbrauch und Lufteintrag
Zündquellenvermeidung	Potentialausgleich an allen Flanschverbindungen (Erdungslaschen), R < 10^6 Ω (TRGS 727); Betriebsmittel in Zone 20/22 nach ATEX 2014/34/EU (Gerätekategorie 1D/3D), Schleusen und Filterelemente ableitfähig, Rohrleitung metallisch durchgehend leitfähig
Konstruktive Entkopplung	Zellenradschleusen Z-100 (Eintritt B-101) und Z-201 (Austrag B-201) als druckstoßfeste, explosionstechnisch entkoppelnde Bauteile (Z-201: druckstoßfest 10 bar, Ex-zertifiziert); Rückschlagklappe RV-2009 auf der Gebläsedruckseite
Behälter / Filter	B-101 ist Druckbehälter PS 4,0 bar(g) (Kat. IV) und damit für den inertisierten Betrieb ausreichend fest; B-201/F-201 (PS +0,5/−0,1 bar(g)) optional mit Berstscheibe/Druckentlastung nach EN 14491, sofern eine Inertisierungsstörung nicht sicher beherrscht wird
Organisatorisch	Explosionsschutzdokument nach GefStoffV § 6 Abs. 9 / TRGS 720–722, Kennzeichnung der Zonen, Freigabeverfahren für Öffnen der Anlage (Mannlöcher N5 bzw. N4), Reinigungs-/Wartungsplan gegen Staubablagerungen (TRGS 727 für elektrostatische Aufladung)

3 Layout und Trassierung

3.1 Koordinatensystem und Bezugshöhen

Alle Koordinaten sind Anlagenkoordinaten in Metern: X positiv nach Ost, Y positiv nach Nord, Z als Höhe über dem Anlagennullpunkt ±0,000 (Oberkante Fertigfußboden Erdgeschoss, FFB). Rohrleitungskoordinaten beziehen sich auf die Rohrachse; Bogenknoten (E1…E6) sind Schnittpunkte der Achsen (Tangentenschnittpunkte), Flanschknoten (P0, P1) bezeichnen die Flanschfläche des Apparatestutzens. Höhenkoten werden mit Vorzeichen angegeben (z. B. +11,000).

3.2 Gebäude, Werkstraße und Rohrbrücke

ID	Bezeichnung	X von … bis [m]	Y von … bis [m]	Höhe [m]
GEB-A	Gebäude A – Pulvererzeugung	0,000 … 60,000	0,000 … 22,000	14,0
GEB-B	Gebäude B – Pulverübernahme / Abfüllung	88,000 … 112,000	0,000 … 22,000	14,0
STR	Werkstraße (lichte Höhe min. 4,50 m)	70,000 … 78,000	−10,000 … 32,000	–

Merkmal	Wert
Bezeichnung	RB-01 – Rohrbrücke RB-01 (Stahlbau S235JR, feuerverzinkt)
Stützenachsen X	62,000 / 68,000 / 80,000 / 86,000 m
Felder	6,0 / 12,0 / 6,0 m (Gesamtlänge 24,0 m)
Breite (Y-Bereich)	13,500 … 17,000 m (Breite 3,50 m)
OK Träger / UK Träger	+5,300 / +4,700
Lichte Höhe über Werkstraße	4,70 m ≥ 4,50 m gefordert → **erfüllt**
Tragwerk	HEB 300 längs, HEA 200 quer, Diagonalverband L 80×8
Rohrachse Hauptleitung	+5,500 (Rohrunterkante +5,416, Auflagerhöhe über OK Träger ≈ 116 mm)

3.3 Knotenliste Hauptleitung 150-PC-1001-A1

Knoten	X [m]	Y [m]	Z [m]	Typ	Funktion
P0	52,000	8,000	+8,400	Flansch	Flansch N3 B-101 (Start)
E1	52,000	8,000	+11,000	Bogen 90°	Bogen 90° → Nord (weg vom Behälter)
E2	52,000	14,000	+11,000	Bogen 90°	Bogen 90° „Knick“ → Ost
E3	62,000	14,000	+11,000	Bogen 90°	Bogen 90° → nach unten
E4	62,000	14,000	+5,500	Bogen 90°	Bogen 90° → Ost, Rohrbrücke RB-01
E5	92,500	14,000	+5,500	Bogen 90°	Bogen 90° → nach oben (Gebäude B)
E6	92,500	14,000	+8,500	Bogen 90°	Bogen 90° → Ost
P1	95,000	14,000	+8,500	Flansch	Flansch N1 B-201 (Ende)

3.4 Schenkelliste

Nr.	Von – nach	Richtung	Achslänge [m]	Gerade Rohrlänge [m]	Einbauten im Schenkel
1	P0 – E1	oben (+Z)	2,60	1,85	FL-N3, HV-1001, PT-1001, N2-SPUEL
2	E1 – E2	Nord (+Y)	6,00	4,50	–
3	E2 – E3	Ost (+X)	10,00	8,50	–
4	E3 – E4	unten (−Z)	5,50	4,00	–
5	E4 – E5	Ost (+X)	30,50	29,00	W-201
6	E5 – E6	oben (+Z)	3,00	1,50	PT-1002
7	E6 – P1	Ost (+X)	2,50	1,75	FL-N1

Gerade Rohrlänge = Achslänge abzüglich der Bogentangenten R = 0,750 m je Bogen; Einbaulängen der Armaturen sind darin nicht abgezogen.

3.5 Leitungsstatistik

Kenngröße	Wert	Einheit
Achslänge (Summe Schenkel)	60,100	m
Anzahl Bögen 90°, R = 5×DN	6	Stk
Bogenlänge (Bogenmitte)	7,069	m
Gerade Rohrlänge (ohne Bögen)	51,100	m
Entwickelte Länge (Rohr + Bögen)	58,169	m
Höhendifferenz Start → Ende	+8,400 → +8,500 (0,100 m)	m
Höchster / tiefster Achspunkt	+11,000 / +5,500	m

3.6 Einbauten in der Hauptleitung

Tag	Typ	Schenkel	s ab Schenkelanfang [m]	Position X / Y / Z [m]	Baulänge [m]	Beschreibung
FL-N3	flanschpaar	1	0,00	52,000 / 8,000 / +8,400	–	Flanschverbindung N3 (Vorschweißflansch + Steckscheibe)
HV-1001	kugelhahn	1	0,60	52,000 / 8,000 / +9,000	0,40	Kugelhahn DN150 PN16, pneum. Antrieb, ZSO/ZSC 1001
PT-1001	messstelle	1	1,00	52,000 / 8,000 / +9,400	–	Druck PIRA+ 1001 (Membran-Messumformer, N2-Spülung)
N2-SPUEL	abzweig	1	1,35	52,000 / 8,000 / +9,750	–	Spülanschluss 025-N2-2004-A1 (Leerblasen) (DN25, Richtung -X)
W-201	rohrweiche	5	27,50	89,500 / 14,000 / +5,500	0,80	Zweiwege-Rohrweiche DN150, Abzweig → 150-PC-1003-A1
PT-1002	messstelle	6	1,50	92,500 / 14,000 / +7,000	–	Druck PIR 1002 (Leitungsende)
FL-N1	flanschpaar	7	2,50	95,000 / 14,000 / +8,500	–	Flanschverbindung N1 B-201

3.7 Wanddurchführungen

Nr.	Ort	Achshöhe	Schenkel	Halterung	Ausführung
WD-A	Gebäude A, Ostwand X = 60,000	+11,000	E2–E3 (Schenkel 3, horizontal)	H-1001-04 (FL)	Hülsrohr DN250 mit Dichtmanschette, Ex-/Brandschutzabschottung nach Gebäudekonzept, Führungslager am Wanddurchgang
WD-B	Gebäude B, Westwand X = 88,000	+5,500	E4–E5 (Schenkel 5, horizontal)	H-1001-11 (FL)	Hülsrohr DN250, Abschottung wie WD-A; Rohrweiche W-201 2,5 m hinter der Wand im Gebäude B

3.8 Rohrbrücke RB-01

Die Rohrbrücke überspannt die Werkstraße (X 70,000 … 78,000) im mittleren Feld von 12,0 m; die Randfelder sind je 6,0 m lang. Die Hauptleitung liegt auf Querträgern an den Stützenachsen sowie in Feldmitte des Mittelfelds (X = 74,000, Fachwerk), sodass die Stützweite von 6,0 m eingehalten wird (siehe Kap. 10). Der Festpunkt der Leitung liegt an der Stütze X = 80,000 (siehe Kap. 11.2).

Feld	Stützen X [m]	Spannweite [m]	Nutzung
1	62,000 – 68,000	6,00	Randfeld West, Anschluss Gebäude A (Fallrohr E3–E4 an Stütze X = 62)
2	68,000 – 80,000	12,00	Mittelfeld über Werkstraße, Fachwerkträger, Zwischenauflager X = 74,000
3	80,000 – 86,000	6,00	Randfeld Ost, Festpunkt X = 80,000, Anschluss Gebäude B

3.9 Leitungen auf der Rohrbrücke

Leitung	Medium	DN	Y [m]	Z Achse	Bemerkung
150-PC-1001-A1	Pulver / N2 (Förderung)	150	14,000	+5,500	Hauptleitung, Verschleißbögen
080-N2-2010-A1	N2-Rückführung Kreislauf (V-201 → TP-01)	80	14,600	+5,500	Versorgungsleitung auf RB-01
050-IA-2005-A1	Instrumentenluft	50	15,200	+5,500	Versorgungsleitung auf RB-01
100-KW-3001-B1	Kühlwasser Vorlauf	100	15,800	+5,500	Versorgungsleitung auf RB-01 (Bestand, Rohrklasse B1)
100-KW-3002-B1	Kühlwasser Rücklauf	100	16,400	+5,500	Versorgungsleitung auf RB-01 (Bestand, Rohrklasse B1)

Achsabstand der Leitungen 0,600 m; Leitungen der Rohrklasse B1 (Kühlwasser) sind Bestand und nicht Bestandteil dieser Rohrklasse A1.

3.10 Rohrweiche W-201 und Abzweig 150-PC-1003-A1

Die pneumatische Zweiwege-Rohrweiche W-201 (Endlagen ZSO/ZSC 2051) liegt im Schenkel E4–E5 bei X = 89,500 auf +5,500, 1,5 m hinter der Wanddurchführung Gebäude B. Der Abzweig 150-PC-1003-A1 führt nach Nord (+Y) über 4,00 m zum Anschlusspunkt TP-04 (89,500 / 18,000 / +5,500) und endet dort mit Blindflansch PN16 (Status: Zukunft, Silo B-202). Die Weiche wird nur bei geschlossenem HV-1001 und drucklos gespülter Leitung umgestellt (Verriegelung I-5).

4 Apparateliste

Die Apparateliste umfasst die Hauptapparate des Fördersystems. Für Behälter sind die Druckgeräte-Auslegungsdaten (PS, TS), der Werkstoff und die Einstufung nach Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU (DGRL) angegeben; Zellenradschleusen, Filter, Rohrweiche und Gebläse sind Maschinen bzw. Baugruppen, deren Auslegungsdaten und Werkstoffe der jeweilige Lieferant festlegt (gekennzeichnet mit „–").

Tag	Bezeichnung / Typ	Hauptdaten / Aufstellung	PS / TS / Werkstoff	DGRL-Einstufung
B-101	**Sende-/Pufferbehälter Pulver (liegend)** horizontaler Druckbehälter, Klöpperböden, Fluidisierboden, innenliegendes Steigrohr (Oberaustrag)	D_i = 3.200 mm; L_ges = 50.000 mm (zyl. 48.400 mm); V ≈ 400 m³; 6 Sättel bei X = 8/16/24/32/40/48 m; X 4,000 … 54,000, Achse Y = 8,000, Z = +6,000	PS 4,0 / −0,1 bar(g) TS −10 / +80 °C Werkstoff 1.4404	Kat. IV (PS·V = 1,6·10⁶ bar·L, Gase Gruppe 2) – Modul G / B+F, AD 2000
B-201	**Empfangsbehälter / Silo Pulver** vertikaler Behälter mit Konus, auf 4 Stützen, Filteraufsatz F-201	D_i = 3.000 mm; V ≈ 45 m³; Achse X/Y = 97,000 / 14,000; Zylinder +4,000 … +10,000, Konus bis +2,200	PS 0,5 / −0,1 bar(g) TS −10 / +80 °C Werkstoff 1.4404	Art. 4 Abs. 3 DGRL (PS ≤ 0,5 bar) – gute Ingenieurpraxis, Auslegung n. AD 2000
F-201	**Filteraufsatz B-201 (Patronenfilter, Jet-Abreinigung N2)** Aufsatzfilter, PDIA+ 2031	D = 2.000 mm; X/Y = 97,000 / 14,000; Z +10,000 … +12,600	–	–
Z-201	**Zellenradschleuse Austrag B-201** Durchblasschleuse DN300, druckstoßfest 10 bar, Ex-zertifiziert	X/Y = 97,000 / 14,000; Z +1,600 … +2,200	–	–
W-201	**Zweiwege-Rohrweiche DN150** pneum., Endlagen ZSO/ZSC, Abzweig zu 150-PC-1003-A1 (Zukunft B-202)	Aufstellung X/Y/Z = 89,500 / 14,000 / +5,500	–	–
V-201	**Kreislaufgebläse Fördergas (N2)** Schraubenverdichter trockenlaufend, 1.900 Nm³/h, Δp 2,0 bar, Ex-Ausführung	Aufstellung X/Y/Z = 104,000 / 8,000 / +0,000	–	–
Z-100	**Zellenradschleuse Produkteintritt B-101** vom Sprühtrockner/Zyklon (Bestand)	Aufstellung X/Y/Z = 20,000 / 8,000 / +9,000	–	–
F-101	**Entspannungsfilter B-101** Aufsatzfilter, Abluft → Wäscher (TP-03)	Aufstellung X/Y/Z = 40,000 / 8,000 / +8,500	–	–

Stutzenliste B-101 – Sende-/Pufferbehälter Pulver (liegend)

Stutzen	DN	Flansch	Funktion	Position (Modell)
N1	300	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Produkteintritt (von Zellenradschleuse Z-100)	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N2	80	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	N2 Fluidisierung (Fluidisierboden)	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N3	150	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Produktaustritt Förderleitung 150-PC-1001-A1	X = 52,000 / Y = 8,000 / Flanschfläche +8,400, Richtung +Z
N4	200	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Entlüftung / Entspannung (zu F-101)	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N5	600	PN16 (Mannloch mit Deckel)	Mannloch	gem. Behälterzeichnung Hersteller

Stutzen	DN	Flansch	Funktion	Position (Modell)
N6	80	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Sicherheitsventil PSV-1001	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N7	80	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Füllstand LIRA– 1011 (Radar)	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N8	50	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Druck PIRA+ 1012	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N9	80	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	N2 Druckaufbau (Gasraum)	gem. Behälterzeichnung Hersteller

Stutzenliste B-201 – Empfangsbehälter / Silo Pulver

Stutzen	DN	Flansch	Funktion	Position (Modell)
N1	150	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Produkteintritt von 150-PC-1001-A1	Flanschfläche X = 95,000 / Y = 14,000 / +8,500, Richtung -X
N2	200	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Reingasaustritt F-201 → 200-N2-2003-A1	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N3	300	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Produktaustrag → Zellenradschleuse Z-201	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N4	500	PN16 (Mannloch mit Deckel)	Mannloch	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N5	80	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Füllstand LIRA+ 2011 (Radar)	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N6	80	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Füllstand LSA++ 2012 (Vibrationsgabel)	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N7	80	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Druck PIRA± 2041 / Über-Unterdrucksicherung PSV-2001	gem. Behälterzeichnung Hersteller
N8	50	PN16, EN 1092-1 Typ 11/B1	Inertgas N2 (Spülung/Inertisierung)	gem. Behälterzeichnung Hersteller

5 Rohrleitungsliste

Leitungsnummern nach dem Schema **DN – Mediumkürzel – laufende Nummer – Rohrklasse** (Beispiel 150-PC-1001-A1: DN150, Pulverförderung, Leitung 1001, Rohrklasse A1). PS/TS = zulässiger Druck/Temperatur (Auslegung), p_betr/T_betr = Betriebswerte, Iso. = Isolierung. Prüfdruck nach Kap. 11.3.

Mediumkürzel: PC = Pulver / Produkt (pneumatische Förderung, Schwerkraft); **N2** = Stickstoff (Fördergas, Inertgas, Spülung); **IA** = Instrumentenluft; **PA** = Prozessabluft / Entspannungsgas; **KW** = Kühlwasser (Bestand, Rohrklasse B1).

Leitungs-Nr.	Von	Nach	DN	Kl.	Medium	PS	TS	p_betr	T_betr	Iso.	Prüfdruck	Bemerkung
150-PC-1001-A1	B-101 N3	B-201 N1	150	A1	Pulver / N2 (Förderung)	4,0 / −0,1 bar(g)	−10/+80 °C	≤ 1,2 bar(g)	40 °C	keine	6,0 bar(g) hydr.	Hauptleitung, Verschleißbögen 5D, Potentialausgleich
150-PC-1003-A1	W-201	TP-04 (Zukunft B-202)	150	A1	Pulver / N2	4,0 / −0,1 bar(g)	−10/+80 °C	≤ 1,2 bar(g)	40 °C	keine	6,0 bar(g) hydr.	Abzweig Rohrweiche, Blindflansch
080-N2-2001-A1	TP-01 (N2-Netz)	B-101 N2/N9	80	A1	Stickstoff	10,0 bar(g)	−10/+80 °C	3,5 bar(g)	20 °C	keine	15,0 bar(g) hydr.	Fördergas Fluidisierung + Druckaufbau
025-N2-2004-A1	080-N2-2001-A1	150-PC-1001-A1	25	A1	Stickstoff	10,0 bar(g)	−10/+80 °C	3,5 bar(g)	20 °C	keine	15,0 bar(g) hydr.	Spülung / Leerblasen Förderleitung
050-IA-2005-A1	TP-02 (IA-Netz)	Antriebe / F-201 Abreinigung	50	A1	Instrumentenluft	10,0 bar(g)	−10/+80 °C	6,0 bar(g)	20 °C	keine	15,0 bar(g) pneum.	Rohrbrücke RB-01
200-N2-2003-A1	B-201 N2 / F-201	V-201 Saugseite	200	A1	Stickstoff (Reingas, Kreislauf)	4,0 / −0,1 bar(g)	−10/+80 °C	0,1 bar(g)	40 °C	keine	6,0 bar(g)	O2-Überwachung QIRA+ 2021
080-N2-2010-A1	V-201 Druckseite (Geb. B)	TP-01 / 080-N2-2001-A1 (über RB-01)	80	A1	Stickstoff (Kreislauf)	10,0 bar(g)	−10/+80 °C	3,5 bar(g)	60 °C	keine	15,0 bar(g) hydr.	Kreislaufrückführung über Rohrbrücke RB-01, RV-2009
200-PA-2007-A1	B-101 N4 / F-101	TP-03 (Abluft/Wäscher)	200	A1	Entspannungsgas N2/Staub	4,0 / −0,1 bar(g)	−10/+80 °C	0,05 bar(g)	40 °C	keine	6,0 bar(g)	Entspannung B-101 nach Förderzyklus
300-PC-2006-A1	Z-201	TP-06 (Abfüllung)	300	A1	Pulver (Schwerkraft)	0,5 / −0,1 bar(g)	−10/+80 °C	atm.	40 °C	keine	Dichtheit	Fallleitung, Ex-Entkopplung durch Z-201

6 Rohrklasse A1

Die Rohrklasse A1 legt Werkstoff, Abmessungen und Bauteile für alle Leitungen dieses Projekts fest (Pulverförderung, Stickstoff, Instrumentenluft). Grundlage ist EN 13480 (metallische industrielle Rohrleitungen); Bauteile nach den genannten Produktnormen mit Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach EN 10204.

Merkmal	Wert
Rohrklasse	A1
Werkstoff	1.4404 (316L)
Druckstufe	PN16
Temperaturbereich	−10 °C … +80 °C
Medien	Pulver/N2 (pneumatische Förderung), N2, Instrumentenluft
Zuschläge	c1 = 0 mm (Korrosion), c2 = 3,0 mm (Abrasion, nur Förderleitungen)

6.1 Rohrabmessungen

DN	d_a [mm]	s [mm]	d_i [mm]	Norm	Verwendung
DN25	33,7	2,0	29,7	EN 10216-5 / EN 10217-7	Spülleitung 025-N2-2004-A1
DN50	60,3	2,0	56,3	EN 10216-5 / EN 10217-7	Instrumentenluft 050-IA-2005-A1
DN80	88,9	2,3	84,3	EN 10216-5 / EN 10217-7	Stickstoff 080-N2-2001/2010-A1
DN100	114,3	2,6	109,1	EN 10216-5 / EN 10217-7	Reserve (Versorgung)
DN150	168,3	4,5	159,3	EN 10216-5 (Förderleitung, Abrasionszuschlag)	Förderleitungen 150-PC-… (Abrasionszuschlag c2 = 3,0 mm, nahtlos)
DN200	219,1	3,0	213,1	EN 10217-7	Reingas/Entspannung 200-N2-2003-A1, 200-PA-2007-A1
DN300	323,9	4,0	315,9	EN 10217-7	Fallleitung 300-PC-2006-A1 (drucklos)

d_i rechnerisch = d_a − 2·s. Die Wanddicke DN150 (4,5 mm) enthält den Abrasionszuschlag c2 = 3,0 mm (Nachweis Kap. 11.1).

6.2 Bauteile, Schweißen und Prüfung

Bauteil / Thema	Festlegung
Rohre	Nahtlos EN 10216-5 (Förderleitung DN150) bzw. geschweißt EN 10217-7, Abmessungen gem. Tabelle; Toleranz Wanddicke 12,5 %
Bögen	Förderleitung: Rohrbogen R = 5×DN (750 mm), s = 5,0 mm, Verschleißbogen (optional Keramikauskleidung); Versorgungsleitungen: EN 10253-4 Typ B, 3D
Flansche	EN 1092-1 Typ 11 (Vorschweißflansch) Form B1, PN16, 1.4404; Blindflansche Typ 05
Dichtungen	PTFE-Flachdichtung (modifiziert) nach EN 1514-1 Form IBC, e = 2 mm
Schrauben	Sechskantschrauben EN ISO 4014/4017 A4-70, Muttern EN ISO 4032 A4-70, Scheiben ISO 7089
Armaturen	Kugelhahn vollbohrend DN150 PN16 1.4404 (pneum. Schwenkantrieb, ZSO/ZSC); Zweiwege-Rohrweiche DN150 (pneum.); Absperrklappen DN80–DN200 PN16 (Gasleitungen); Rückschlagventile
Schweißen	WIG-Wurzel, innen glatt (Formiergas), WPS/WPQR nach EN ISO 15614-1, Schweißer EN ISO 9606-1

Bauteil / Thema	Festlegung
Prüfung	100 % VT, 10 % RT (EN ISO 17636), 10 % PMI, Beizen/Passivieren, Innenoberfläche Ra ≤ 3,2 µm
Zeugnisse	Abnahmeprüfzeugnis 3.1 nach EN 10204 für Rohre, Formstücke, Flansche
Kennzeichnung	DIN 2403 Gruppe 5 (nicht brennbare Gase, schwarz) + Zusatzschild „Pulver/Produkt“, Fließrichtungspfeile
Erdung	Potentialausgleich an allen Flanschverbindungen (Erdungslaschen), R < 10^6 Ω (TRGS 727)

6.3 Zuschläge

- Korrosionszuschlag c1 = 0,0 mm: austenitischer Stahl 1.4404 gegenüber Stickstoff und trockenem Pulver beständig.
- Verschleißzuschlag c2 = 3,0 mm nur für Förderleitungen (150-PC-…): Dünnstromförderung mit bis zu 27 m/s Gasgeschwindigkeit führt zu Abrasion, insbesondere in Bögen (daher zusätzlich Verschleißbögen R = 5×DN mit s = 5,0 mm).
- Versorgungsleitungen (N2, IA, PA) ohne Verschleißzuschlag; Wanddicken nach Normreihe (EN ISO 1127) mit ausreichender Reserve gegenüber PN16.

7 Armaturenliste

Alle Armaturen in Rohrklasse A1 (1.4404, PN16). Armaturen in Zone 20/22 sind nach ATEX 2014/34/EU zu spezifizieren (Antriebe, Endschalter, Magnetventile); Gehäuse und Antriebe sind in den Potentialausgleich einzubinden. Die Kennzeichnung folgt DIN EN 62424 (HV = Handarmatur/Absperrarmatur mit Auf/Zu-Funktion, PCV/FCV = Stellventil des Druck-/Durchflussregelkreises, PSV = Sicherheitsventil, RV = Rückschlagarmatur).

Tag	Typ / Ausführung	Leitung / Einbauort	Werkstoff	Betätigung	Funktion im Prozess
HV-1001	Kugelhahn DN150 PN16, vollbohrend, pneum. Schwenkantrieb (federschließend)	150-PC-1001-A1	1.4404	pneum. Schwenkantrieb, federschließend (Sicherheitsstellung „zu"), Endlagen ZSO/ZSC 1001	Absperrung der Förderleitung am Behälteraustritt N3; Auf/Zu im Batch-Ablauf (Schritte 4–5), Verriegelungen I-1, I-2, I-3, I-5
W-201	Zweiwege-Rohrweiche DN150, pneum.	150-PC-1001-A1 / 150-PC-1003-A1	1.4404	pneum. Schwenkantrieb, Endlagen ZSO/ZSC 2051	Umschaltung des Förderwegs B-201 / Zukunft B-202 (Abzweig 150-PC-1003-A1); Umstellen nur bei geschlossenem HV-1001
HV-2004	Kugelhahn DN25 PN16 + Rückschlagventil RV-2004	025-N2-2004-A1 (Spülung)	1.4404	pneum. Auf/Zu, RV-2004 selbsttätig	Spülen/Leerblasen der Förderleitung mit N2 (Schritt 5, Verriegelung I-3); Rückschlagventil verhindert Produktrückströmung in das N2-Netz
PCV-2001	Druckminderer DN80, Vordruck 6 → 3,5 bar(g)	080-N2-2001-A1	1.4404	selbsttätig (Druckminderer), Rückmeldung PIRC 2001	Vordruckregelung des Fördergases aus dem N2-Werksnetz (TP-01) auf 3,5 bar(g)
FCV-2002	Regelventil DN80 mit Stellungsregler	080-N2-2001-A1	1.4404	pneum. Stellantrieb mit Stellungsregler	Regelung der Fördergasmenge FIRC 2002 (≈ 1.800 Nm³/h)
HV-2002	Absperrklappe DN80 PN16 (Fluidisierung)	080-N2-2001-A1	1.4404	pneum. Auf/Zu (Automatikbetrieb)	Freigabe der Fluidisierung über den Fluidisierboden B-101 (Stutzen N2), Schritt 4
HV-2003	Absperrklappe DN80 PN16 (Druckaufbau Gasraum)	080-N2-2001-A1	1.4404	pneum. Auf/Zu (Automatikbetrieb)	Druckaufbau im Gasraum B-101 (Stutzen N9), Schritt 3; schließt bei I-4
HV-2006	Absperrklappe DN200 PN16 (Entspannung B-101 → F-101)	200-PA-2007-A1	1.4404	pneum. Auf/Zu (Automatikbetrieb)	Entspannung B-101 über Entspannungsfilter F-101 nach 200-PA-2007-A1, Schritte 1, 2 und 6
PSV-1001	Sicherheitsventil DN80/DN125, p_set 4,0 bar(g) (AD 2000 A2)	B-101 N6	1.4404	selbsttätig (federbelastet)	Absicherung B-101 gegen Überdruck, Ansprechdruck = PS = 4,0 bar(g); Auslegung/Abblaseleistung nach AD 2000 A2
PSV-2001	Über-/Unterdrucksicherung +0,5 / −0,1 bar(g)	B-201 N7	1.4404	selbsttätig (Gewichts-/Federbelastung)	Absicherung B-201 gegen Überdruck (+0,5 bar(g)) und Unterdruck (−0,1 bar(g))
HV-2008	Absperrklappe DN200 PN16 (Reingas → V-201)	200-N2-2003-A1	1.4404	pneum. Auf/Zu (Automatikbetrieb)	Absperrung Reingasleitung zum Kreislaufgebläse V-201 (Stillstand, Wartung)
RV-2009	Rückschlagklappe DN80	080-N2-2010-A1 (V-201 Druckseite)	1.4404	selbsttätig	Rückströmsicherung auf der Druckseite V-201; Entkopplung Gasraum B-101 vom Gebläse

8 PLT-Stellenliste

Die Kennzeichnung der PLT-Stellen erfolgt nach DIN EN 62424 (PCE-Kategorien): Erstbuchstabe = Messgröße, Folgebuchstaben = Verarbeitung/Funktion, Zusatzzeichen +/− = Grenzwert hoch/tief. Nummernkreis 10xx = Sendebehälter B-101 und Förderleitung, 20xx = Gasversorgung, Empfangsbehälter B-201 und Kreislauf.

PLT-Stelle	PCE-Kategorie	Nr.	Einbauort	Funktion	Messprinzip / Typ
PIRA+ 1001	PIRA+	1001	150-PC-1001-A1 Steigrohr B-101	Förderdruck Leitungsanfang, Alarm hoch (Verstopfung)	Membran-Druckmessumformer, N2-Spülung
PIR 1002	PIR	1002	150-PC-1001-A1 vor B-201	Förderdruck Leitungsende (Δp-Überwachung)	Druckmessumformer
ZSO/ZSC 1001	ZSO/ZSC	1001	HV-1001	Endlagenrückmeldung Kugelhahn	induktiv
LIRA− 1011	LIRA−	1011	B-101 N7	Füllstand B-101, Alarm tief (Förderende)	Radar 80 GHz
PIRA+ 1012	PIRA+	1012	B-101 N8	Behälterdruck, Alarm hoch	Druckmessumformer
PIRC 2001	PIRC	2001	080-N2-2001-A1	Vordruckregelung Fördergas 3,5 bar(g) (PCV-2001); Förderdruck ≈ 1,2 bar(g) über PIRA+ 1012 überwacht	Druckminderer + Messumformer
FIRC 2002	FIRC	2002	080-N2-2001-A1	Fördergasmenge, Regelung FCV-2002	Thermischer Massedurchfluss
LIRA+ 2011	LIRA+	2011	B-201 N5	Füllstand B-201, Alarm hoch	Radar 80 GHz
LSA++ 2012	LSA++	2012	B-201 N6	Überfüllsicherung (SIL 1), Abschaltung Förderung	Vibrationsgabel
QIRA+ 2021	QIRA+	2021	200-N2-2003-A1 (Kreislaufgas)	O2-Überwachung Inertisierung, Alarm > 5 Vol.-%	Sauerstoffanalysator
PDIA+ 2031	PDIA+	2031	F-201	Filterdifferenzdruck, Alarm hoch	Differenzdruckmessumformer
PIRA± 2041	PIRA±	2041	B-201 N7	Behälterdruck B-201, Alarm hoch/tief	Druckmessumformer
ZSO/ZSC 2051	ZSO/ZSC	2051	W-201	Endlagen Rohrweiche	induktiv

8.1 Kennbuchstaben nach DIN EN 62424

Erstbuchstabe	Messgröße
P	Druck
PD	Differenzdruck
F	Durchfluss
L	Füllstand
Q	Qualität / Analyse (hier: Sauerstoffgehalt)
Z	Stellung (Endlage einer Armatur)

Folgebuchstabe / Zusatz	Bedeutung
I	Anzeige (Indication)
R	Registrierung / Aufzeichnung (Recording)
C	Regelung (Control)
A	Alarm / Meldung
S	Schaltung / Verriegelung (Switching), sicherheitsrelevant
+ / −	Grenzwert hoch / tief; ± = hoch und tief; ++ = Grenzwert hoch-hoch (Abschaltung)
O / C	bei Z: Offen / Geschlossen (ZSO/ZSC = Endlagenschalter offen/geschlossen)

> Sicherheitsrelevante Stellen (S) mit Grenzwert ++ (LSA++ 2012) lösen Verriegelungen aus (Kap. 2.4) und werden als SIL-Kreise (IEC 61511) ausgeführt; die Alarmstellen (A) melden zur Prozessleitwarte. Membran-Druckmessumformer in der Förderleitung erhalten eine N2-Spülung gegen Verstopfung durch Pulver.

9 Anschlusspunktliste

Anschlusspunkte (Tie-in Points, TP) sind die Schnittstellen des Projekts zu Bestandsanlagen und Werksnetzen sowie Vorhaltungen für künftige Erweiterungen. Bestandsanschlüsse sind vor Detailplanung vor Ort aufzumessen (Lage, Flanschnorm, Bolzenlochbild, Bestandsdruckstufe); Eingriffe an Bestandsleitungen erfordern eine Freischalt-/Arbeitsfreigabe des Betreibers.

TP	System	Leitung	DN	Art des Anschlusses	X [m]	Y [m]	Z [m]	Status
TP-01	N2-Werksnetz 6 bar(g)	080-N2-2001-A1	80	Flansch PN16 (Bestand)	60,000	14,600	+5,500	Bestand
TP-02	Instrumentenluft-Netz	050-IA-2005-A1	50	Flansch PN16 (Bestand)	60,000	15,200	+5,500	Bestand
TP-03	Abluft / Wäscher	200-PA-2007-A1	200	Schweißstoß (Bestand)	40,000	8,000	+12,000	Bestand
TP-04	Zukunft Silo B-202	150-PC-1003-A1	150	Blindflansch PN16	89,500	18,000	+5,500	Zukunft
TP-05	Kühlwasser VL/RL (Rack)	100-KW-3001/3002-B1	100	Flansch PN16 (Bestand)	60,000	16,100	+5,500	Bestand
TP-06	Abfüllung / Big-Bag-Station	300-PC-2006-A1	300	Flansch PN10 (Zellenradschleuse Z-201)	97,000	14,000	+1,600	Bestand

- TP-01/TP-02/TP-05 liegen an der Ostwand von Gebäude A (X = 60,000) auf Rohrbrückenniveau +5,500; die Versorgungsleitungen laufen gemeinsam mit der Hauptleitung über RB-01.
- TP-03 (Abluft/Wäscher) liegt oberhalb des Entspannungsfilters F-101 auf +12,000 in Gebäude A.
- TP-04 ist ein Blindflansch am Abzweig der Rohrweiche W-201 (Zukunft Silo B-202) – Vorhaltung ohne Bestandsanschluss.
- TP-06 ist der Übergabeflansch PN10 unter der Zellenradschleuse Z-201 (Fallleitung 300-PC-2006-A1 zur Abfüllung).

10 Halterungsliste und Stützweiten

Die Halterungen der Hauptleitung 150-PC-1001-A1 sind so angeordnet, dass das Rohrgewicht (Rohr 168,3 × 4,5: ≈ 18,2 kg/m, gefüllt mit Pulver im Störfall zusätzlich bis ≈ 12 kg/m) sicher abgetragen wird, die Wärmedehnung über den Festpunkt X = 80,000 kontrolliert in die vertikalen Dehnschenkel geleitet wird und Schwingungen aus der pneumatischen Förderung (Pfropfen, Druckstöße) durch Führungen an den Richtungswechseln begrenzt werden.

10.1 Halterungstypen

Kürzel	Bezeichnung	Funktion
FL	Führungslager	Trägt das Rohrgewicht und führt das Rohr seitlich (quer zur Achse), axiale Verschiebung (Wärmedehnung) bleibt frei; an Richtungswechseln, Wanddurchführungen und Steigrohren.
GL	Gleitlager	Trägt das Rohrgewicht, Verschiebung in Rohrachse und quer dazu frei (Schelle mit PTFE-Einlage auf Gleitplatte); Standardauflager auf Rohrbrücke und Konsolen.
FP	Festpunkt	Fixiert das Rohr in allen Richtungen, teilt die Dehnungsstrecken und nimmt Reibungs-, Dehnungs- und Reaktionskräfte auf; an der Stütze X = 80,000 der Rohrbrücke.

10.2 Halterungsliste

Tag	Typ	Bezeichnung	Schenkel	s [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	Beschreibung
H-1001-01	FL	Führungslager	1	1,75	52,000	8,000	+10,150	Führungslager, Konsole am Behälterstahlbau
H-1001-02	GL	Gleitlager	2	4,50	52,000	12,500	+11,000	Gleitlager, Hänger an Gebäudedecke +13,000
H-1001-03	GL	Gleitlager	3	3,00	55,000	14,000	+11,000	Gleitlager, Konsole Gebäudestütze
H-1001-04	FL	Führungslager	3	8,00	60,000	14,000	+11,000	Führungslager, Wanddurchführung Gebäude A (X = 60,0)
H-1001-05	FL	Führungslager	4	2,50	62,000	14,000	+8,500	Führungslager, vertikal an Stütze RB-01 X = 62
H-1001-06	GL	Gleitlager	5	0,00	62,000	14,000	+5,500	Gleitlager Querträger X = 62
H-1001-07	GL	Gleitlager	5	6,00	68,000	14,000	+5,500	Gleitlager Querträger X = 68
H-1001-08	GL	Gleitlager	5	12,00	74,000	14,000	+5,500	Gleitlager Querträger X = 74 (Feldmitte, Fachwerk)
H-1001-09	FP	Festpunkt	5	18,00	80,000	14,000	+5,500	Festpunkt Querträger X = 80
H-1001-10	GL	Gleitlager	5	24,00	86,000	14,000	+5,500	Gleitlager Querträger X = 86
H-1001-11	FL	Führungslager	5	26,00	88,000	14,000	+5,500	Führungslager, Wanddurchführung Gebäude B (X = 88,0)
H-1001-12	GL	Gleitlager	7	1,20	93,700	14,000	+8,500	Gleitlager, Konsole am Stützgerüst B-201
H-1001-13	GL	Gleitlager	5	29,30	91,300	14,000	+5,500	Gleitlager, Hänger an Deckenträger Geb. B (X = 91,3)

s = Abstand vom Schenkelanfang (Knoten) entlang der Rohrachse. Schellen mit PTFE-Einlage (kein Kontakt Edelstahl/Baustahl), Halterungen aus 1.4301 bzw. S235 feuerverzinkt.

10.3 Stützweitenregel und Abstände

Zulässige Stützweite: **≤ 6,0 m**. DN150 Stahlrohr, Gas/Pulver-Förderung, Schwingungen → Stützweite ≤ 6,0 m (EN 13480-3 / Herstellerangaben), Schellen mit Einlage, Führungen an Richtungswechseln. Die Abstände der Halterungen entlang der Rohrachse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt; in Abschnitten mit Richtungswechseln (Bögen) gilt nicht die Stützweitenregel für gerade Rohre, sondern der Nachweis von Durchbiegung, Spannung und Eigenfrequenz in der Spannungsberechnung (Kap. 11.2).

Halterungen	Abstand entlang Achse [m]	Bewertung	Status
H-1001-01 → H-1001-02	5,35	Abschnitt mit Bogen E1 (L-förmig) – keine gerade Stützweite; Nachweis in der Spannungsberechnung	–
H-1001-02 → H-1001-03	4,50	Abschnitt mit Bogen E2 (L-förmig) – keine gerade Stützweite; Nachweis in der Spannungsberechnung	–
H-1001-03 → H-1001-04	5,00	gerade Stützweite	OK
H-1001-04 → H-1001-05	4,50	Abschnitt mit Bogen E3 (L-förmig) – keine gerade Stützweite; Nachweis in der Spannungsberechnung	–
H-1001-05 → H-1001-06	3,00	gerade Stützweite	OK
H-1001-06 → H-1001-07	6,00	gerade Stützweite	OK
H-1001-07 → H-1001-08	6,00	gerade Stützweite	OK
H-1001-08 → H-1001-09	6,00	gerade Stützweite	OK
H-1001-09 → H-1001-10	6,00	gerade Stützweite	OK
H-1001-10 → H-1001-11	2,00	gerade Stützweite	OK
H-1001-11 → H-1001-12	8,70	Abschnitt mit Bogen E5, E6 (L-förmig) – keine gerade Stützweite; Nachweis in der Spannungsberechnung	–
H-1001-12 → H-1001-13	−5,40	gerade Stützweite	OK

> Empfehlung für das Detail Engineering: Zwischen H-1001-11 (X = 88,000) und H-1001-12 (X = 93,700) liegen die Rohrweiche W-201 (Eigengewicht mit Antrieb) sowie die Bögen E5/E6 und das Steigrohr E5–E6. Eine zusätzliche Führung am Steigrohr (ca. +7,000) und ein Auflager unmittelbar vor W-201 sind bei der Halterungsdetaillierung vorzusehen, ebenso eine Führung am Fallrohr E3–E4 oberhalb E4 (bereits H-1001-05 auf +8,500).

11 Berechnungs- und Prüfgrundlagen

11.1 Wanddicke der Förderleitung 150-PC-1001-A1

Die erforderliche Wanddicke gegen Innendruck wird nach EN 13480-3, Gl. (6.1-1) für D_o/D_i ≤ 1,7 berechnet:

$$e = p \cdot Do / (2 \cdot f \cdot z + p) \text{ (EN 13480-3, Gl. 6.1-1)}$$

Merkmal	Wert
Berechnungsdruck p (= PS)	0,40 MPa = 4,0 bar
Außendurchmesser D_o	168,3 mm
Zulässige Spannung f (80 °C, 1.4404)	127,0 MPa
Schweißnahtfaktor z	1,0 (nahtloses Rohr)
Erforderliche Wanddicke e (ohne Zuschläge)	0,265 mm
Korrosionszuschlag c1	0,0 mm
Verschleißzuschlag c2 (Abrasion)	3,0 mm
Wanddickentoleranz (Minustoleranz)	12,5 %
Mindest-Bestellwanddicke e_ord = (e + c1 + c2) / (1 − 12,5 %)	3,73 mm
Gewählte Wanddicke	**4,5 mm** (168,3 × 4,5) → Reserve 0,77 mm **OK**

Der Innendruck erfordert nur 0,27 mm Wanddicke – maßgebend ist der Abrasionszuschlag c2 = 3,0 mm für die Dünnstromförderung (Verschleiß durch Partikelaufprall, vor allem in Bögen und nach Bögen). Mit Minustoleranz 12,5 % ergibt sich eine Mindest-Bestellwanddicke von 3,73 mm; gewählt wird die Normwanddicke 4,5 mm. Die Bögen erhalten 5,0 mm und einen Radius R = 5×DN, um die Aufprallwinkel zu verringern; alternativ sind Keramikauskleidungen oder auswechselbare Verschleißbögen vorzusehen, wenn die Produktabrasivität dies erfordert (Prüfung im Detail Engineering).

11.2 Wärmedehnung und Flexibilität

Vorabschätzung nach dem Verfahren des geführten Kragarms (vereinfachend nach EN 13480-3, Abschnitt 12): Die Wärmedehnung δ = α · ΔT · L eines Dehnungsabschnitts muss vom rechtwinklig anschließenden Dehnschenkel elastisch aufgenommen werden. Erforderliche Schenkellänge L_min = √(3 · E · D_o · δ / f_a) mit f_a = 190,5 MPa. ΔT = 70 K (TS_max = +80 °C gegenüber Montagetemperatur 10 °C). Der Festpunkt liegt an der Rohrbrückenstütze X = 80,000; er teilt die Brückenstrecke in einen West- und einen Ostabschnitt, deren Dehnungen in die vertikalen Dehnschenkel E3–E4 bzw. E5–E6 geleitet werden.

Abschnitt	L Dehnung [m]	ΔT [K]	δ [mm]	Schenkel vorh. [m]	Schenkel min. [m]	Bewertung
Brücke West (FP→E4), Dehnschenkel E3–E4 vertikal	18,00	70	20,8	5,50	3,26	OK
Brücke Ost (FP→E5), Dehnschenkel E5–E6 vertikal	12,50	70	14,4	3,00	2,72	OK
Steigrohr E5–E6, Dehnschenkel E6–P1	3,00	70	3,5	2,50	1,33	OK
Schenkel E2–E3 (Ost), Dehnschenkel E1–E2	10,00	70	11,5	6,00	2,43	OK

> Die Vorabschätzung zeigt ausreichende Flexibilität aller Abschnitte. Im Detail Engineering ist eine Spannungsberechnung nach EN 13480-3 (z. B. mit ROHR2 oder CAESAR II) für die Lastfälle Eigengewicht, Innendruck, Wärmedehnung (+80 °C / −10 °C), Reibung an den Gleitlagern, Druckprüfung (wassergefüllt) und Förderstöße durchzuführen – einschließlich der Stutzenlasten an B-101 (N3) und B-201 (N1), die mit den zulässigen Stutzenkräften der Behälterhersteller abzugleichen sind. Die Festpunktkraft an X = 80,000 ist als Lastannahme an die Stahlbaustatik der Rohrbrücke zu übergeben.

11.3 Druckprüfung

Merkmal	Wert
Formel	p_test = 1,43 × PS (EN 13480-5 / AD 2000 HP 30)
PS	4,0 bar(g)
Rechnerischer Prüfdruck p_test	5,72 bar(g)
Gewählter Prüfdruck	6,0 bar(g)
Durchführung	hydrostatisch mit entmineralisiertem Wasser (Cl^- < 25 mg/L), anschließend Trocknung mit N2; alternativ pneumatisch 1,1 × PS nach Gefährdungsbeurteilung
Haltezeit / Abnahme	≥ 30 min bei Prüfdruck, anschließend Sichtprüfung aller Nähte und Flansche bei ≥ PS; Protokoll nach EN 13480-5, Prüfmanometer Klasse 1,0
Versorgungsleitungen	Prüfdrücke gem. Rohrleitungsliste (Kap. 5): N2/IA-Leitungen PS 10 bar(g) → 15,0 bar(g); Instrumentenluft pneumatisch mit Gefährdungsbeurteilung; Fallleitung 300-PC-2006-A1 nur Dichtheitsprüfung

11.4 Einstufung nach Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU

Druckgerät	Fluid	Kenngrößen	Einstufung / Konformitätsbewertung
Rohrleitung 150-PC-1001-A1	Fluidgruppe 2 (Stickstoff; Pulver nicht als gefährliches Fluid i. S. DGRL eingestuft – projektspezifisch bestätigen)	PS = 4,0 bar, DN150 → PS·DN = 600 bar	PS·DN = 600 ≤ 1000 → Art. 4 Abs. 3 DGRL (gute Ingenieurpraxis); Ausführung konservativ nach EN 13480 wie Kategorie I
Behälter B-101	Gas Gruppe 2 (N2/Pulver)	PS = 4,0 bar, V = 400 m^3 → PS·V = 1.600.000 bar·L	Kategorie IV (Gase Gruppe 2, PS·V ≫ 3000 bar·L) – Auslegung AD 2000 B0/B1/B3/B9/S1, Prüfung HP 0/HP 30, Benannte Stelle
Behälter B-201	Gas Gruppe 2 (N2/Pulver)	PS = 0,5 bar, V = 45 m^3	Art. 4 Abs. 3 DGRL (PS ≤ 0,5 bar) – gute Ingenieurpraxis, Auslegung n. AD 2000

Für die Rohrleitung 150-PC-1001-A1 gilt Art. 4 Abs. 3 DGRL (gute Ingenieurpraxis, keine CE-Kennzeichnung); Auslegung, Fertigung und Prüfung erfolgen dennoch konservativ nach EN 13480 wie für Kategorie I. Die Einstufung des Pulvers als nicht gefährliches Fluid (Gruppe 2) ist anhand der CLP-Einstufung des Produkts projektspezifisch zu bestätigen; bei Einstufung in Gruppe 1 wäre PS·DN = 600 > 350 → Kategorie II mit Benannter Stelle. Der Behälter B-101 unterliegt als Kategorie IV der Konformitätsbewertung mit Benannter Stelle (Modul G oder B+F); B-201 mit PS ≤ 0,5 bar(g) fällt nicht unter die DGRL, wird aber nach AD 2000 ausgelegt.

11.5 Regelwerke

Anwendung	Regelwerk	Inhalt / Anwendung im Projekt
Rohrleitungen	EN 13480-1 bis -6	Metallische industrielle Rohrleitungen: Allgemeines, Werkstoffe, Konstruktion und Berechnung, Fertigung und Verlegung, Prüfung, Zusatzanforderungen für erdverlegte Rohrleitungen (Teil 6 nicht anzuwenden)
Rohrleitungen (Alternative)	AD 2000-Merkblatt HP 100 R	Bau und Prüfung von Rohrleitungen (Alternative zu EN 13480, sofern vom Betreiber gefordert)
Druckbehälter B-101 / B-201	AD 2000 B0, B1, B3, B5, B7, B8, B9	Berechnung: Grundlagen, zylindrische Mäntel, gewölbte Böden, Öffnungen (Stutzen), Schrauben, Flansche, Ausschnitte
Druckbehälter (Betrieb)	AD 2000 S1	Vereinfachte Berechnung auf Wechselbeanspruchung – Druckzyklen des Batch-Betriebs (Befüllen/Druckaufbau/Entspannen) von B-101
Druckbehälter (Herstellung/Prüfung)	AD 2000 HP 0, HP 2/1, HP 3, HP 5/1–5/3, HP 30	Herstellung und Prüfung: Allgemeines, Verfahrensprüfung, Schweißaufsicht, zerstörungsfreie Prüfung, Druckprüfung
Druckbehälter (Werkstoffe)	AD 2000 W 2	Austenitische und austenitisch-ferritische Stähle
Sicherheitseinrichtungen	AD 2000 A 2	Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung – Sicherheitsventile (PSV-1001)
Flansche	EN 1092-1	Flansche und ihre Verbindungen – Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke, Zubehör, nach PN bezeichnet (Stahlflansche)
Rohre	EN 10216-5 / EN 10217-7	Nahtlose bzw. geschweißte Stahlrohre für Druckbeanspruchungen – nichtrostende Stähle
Formstücke	EN 10253-4	Formstücke zum Stumpfschweißen – austenitische und austenitisch-ferritische Stähle mit besonderen Prüfanforderungen
Dichtungen	EN 1514-1	Flachdichtungen mit und ohne Einlage für Flansche nach EN 1092
Schweißen	EN ISO 15614-1 / EN ISO 9606-1	Anerkennung von Schweißverfahren (WPQR) / Prüfung von Schweißern
Zerstörungsfreie Prüfung	EN ISO 17636-1/-2	Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen (RT)
Werkstoffzeugnisse	EN 10204	Arten von Prüfbescheinigungen – Abnahmeprüfzeugnis 3.1
Kennzeichnung	DIN 2403	Kennzeichnung von Rohrleitungen nach dem Durchflussstoff
Explosionsschutz	TRGS 720, 721, 722, 727	Gefährliche explosionsfähige Gemische – Beurteilung, Zoneneinteilung, Vermeidung/Einschränkung, elektrostatische Aufladungen
Explosionsschutz (Geräte)	ATEX 2014/34/EU	Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen
Druckgeräte	DGRL 2014/68/EU	Druckgeräterichtlinie – Einstufung von Rohrleitung und Behältern (Kap. 11.4)
Stahlbau	EN 1993 (Eurocode 3)	Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Rohrbrücke RB-01, Halterungskonsolen

11.6 Werkstoffkennwerte 1.4404

Merkmal	Wert
Werkstoff-Nr. / Kurzname	1.4404 / X2CrNiMo17-12-2 (AISI 316L); alternativ 1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2)
Lieferform / Norm	Rohre EN 10216-5 (nahtlos) / EN 10217-7 (geschweißt), Formstücke EN 10253-4, Flansche EN 1092-1, Bleche EN 10028-7
Rp0,2 / Rp1,0 bei 20 °C (min.)	190 / 225 MPa (EN 10216-5)
Rp1,0 bei 100 °C (min.)	191 MPa (EN 10216-5) – für 80 °C konservativ angesetzt

Merkmal	Wert
Zugfestigkeit Rm bei 20 °C	490 – 690 MPa
Zulässige Spannung f (80 °C)	127,0 MPa = Rp1,0(100 °C) / 1,5 (EN 13480-3, Tab. 5.1-1, austenitisch, Bruchdehnung ≥ 35 %; konservative Variante ohne Rm/3-Regel)
E-Modul	193.000 MPa (bei ca. 80 °C)
Wärmeausdehnungskoeffizient α (20 … 100 °C)	$16{,}5 \cdot 10^{-6}$ 1/K
Zulässige Spannungsschwingbreite f_a (Flexibilität)	190,5 MPa = 1,25·f_c + 0,25·f_h mit f_c = f_h = 127,0 MPa (EN 13480-3, Gl. 12.1.3-1, Faktor U = 1)
Beständigkeit	Gegenüber N2 und trockenem organischem Pulver beständig (c1 = 0); Lochkorrosion nur bei chloridhaltigem Wasser → Druckprüfung mit entmineralisiertem Wasser, Cl^- < 25 mg/L, Trocknung
Oberfläche / Reinheit	Innen Ra ≤ 3,2 µm, gebeizt und passiviert; produktberührte Oberflächen frei von Anlauffarben (Formiergas beim Schweißen)

12 Vorfertigung und Montage

12.1 Stückliste Hauptleitung 150-PC-1001-A1

Pos.	Menge	Beschreibung	Werkstoff	Norm / Referenz
1	49.90 m	Rohr 168,3 × 4,5, nahtlos, EN 10216-5	1.4404	EN 10216-5
2	6 Stk	Rohrbogen 90°, R = 5×DN (750 mm), 168,3 × 5,0, Verschleißbogen	1.4404	Werksnorm / EN 10253-4
3	6 Stk	Vorschweißflansch DN150 PN16 Typ 11 Form B1	1.4404	EN 1092-1
4	1 Stk	Steckscheibe DN150 PN16 (Absperrung B-101)	1.4404	EN 1092-1 / DIN 2527
5	1 Stk	Kugelhahn DN150 PN16 vollbohrend, pneum. Schwenkantrieb, ZSO/ZSC	1.4404	HV-1001
6	1 Stk	Zweiwege-Rohrweiche DN150, pneum.	1.4404	W-201
7	2 Stk	Messstutzen DN50 PN16 mit Membran-Druckmessumformer	1.4404	PT-1001 / PT-1002
8	1 Stk	T-Stück reduziert 168,3 / 33,7 (Spülanschluss N2)	1.4404	EN 10253-4
9	7 Stk	Flachdichtung DN150 PN16 PTFE, Form IBC, 2 mm	PTFE	EN 1514-1
10	56 Stk	Sechskantschraube M20 × 90 mit Mutter und Scheiben	A4-70	EN ISO 4014 / 4032
11	12 Stk	Rohrhalterungen (FL/GL/FP) gem. Halterungsliste, Schellen mit PTFE-Einlage	1.4301 / S235 fvz	Halterungsliste
12	7 Stk	Erdungslaschen / Potentialausgleichsbrücken an Flanschen	1.4301	TRGS 727

> Rohrlänge in Pos. 1 = gerade Rohrlänge aus der Leitungsstatistik (Bogentangenten abgezogen, Armatureneinbaulängen HV-1001 0,40 m und W-201 0,80 m nicht abgezogen); Verschnittzuschlag ca. 5 % bei Bestellung berücksichtigen.

12.2 Spool-Einteilung (Vorfertigung)

Die Leitung wird in fünf werkstattgefertigte Spools geteilt; Teilungspunkte sind die Montagenähte hinter den Bögen E2 und E4, der Rohrstoß bei X = 75,000 auf der Rohrbrücke (Transportlänge) sowie die Flanschverbindungen der Rohrweiche W-201. Maximale Spoollänge ≈ 15,5 m (Transport mit Sondertransport oder Teilung in zwei Rohrlängen vor Ort).

Spool	Von	Nach	Inhalt
SP-1001-01	P0 (N3)	E2	Flansch, HV-1001, PT-1001, Spülstutzen, Bogen E1, Bogen E2
SP-1001-02	E2	E4	Gerade 8,5 m, Bogen E3, Fallrohr 5,5 m, Bogen E4
SP-1001-03	E4	X = 74,0	Gerade 11,25 m (Brücke West), Montagenähte S22/S23
SP-1001-04	X = 74,0	W-201	Gerade 14,7 m (Brücke Ost), Montagenähte S24/S25, Flansch W-201
SP-1001-05	W-201	P1 (N1)	Bogen E5, Steigrohr, PT-1002, Bogen E6, Flansch N1

12.3 Schweißnahtliste

Naht	Ort	Nahtart	Werkstatt / Montage	Prüfung
S1	Bogen E1a	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S2	Bogen E1b	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S3	Bogen E2a	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S4	Bogen E2b	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Montage (Stoß SP-01/SP-02)	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S5	Bogen E3a	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S6	Bogen E3b	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S7	Bogen E4a	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S8	Bogen E4b	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Montage (Stoß SP-02/SP-03)	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S9	Bogen E5a	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S10	Bogen E5b	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S11	Bogen E6a	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S12	Bogen E6b	Stumpfnaht Rohr–Bogen (Rundnaht)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S13	Flansch FL-N3	Stumpfnaht Rohr–Vorschweißflansch	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S14	Flansch HV-1001 Eintritt	Stumpfnaht Rohr–Vorschweißflansch	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S15	Flansch HV-1001 Austritt	Stumpfnaht Rohr–Vorschweißflansch	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S16	Stutzen PT-1001	Einschweißstutzen (HV-/Kehlnaht, innen glatt)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S17	Stutzen N2-SPUEL	Einschweißstutzen (HV-/Kehlnaht, innen glatt)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S18	Flansch W-201 Eintritt	Stumpfnaht Rohr–Vorschweißflansch	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S19	Flansch W-201 Austritt	Stumpfnaht Rohr–Vorschweißflansch	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S20	Stutzen PT-1002	Einschweißstutzen (HV-/Kehlnaht, innen glatt)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S21	Flansch FL-N1	Stumpfnaht Rohr–Vorschweißflansch	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S22	Rohrstoß X = 67.5 (Montagenaht, Herstelllänge 6 m)	Einschweißstutzen (HV-/Kehlnaht, innen glatt)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl

Rohr–Rohr-Rundnähte der Herstelllängen (Rohrstöße innerhalb der geraden Abschnitte, z. B. auf der Rohrbrücke) sind in der Spoolzeichnung des Detail Engineering zu ergänzen und nach demselben Prüfplan zu behandeln.

Naht	Ort	Nahtart	Werkstatt / Montage	Prüfung
S23	Rohrstoß X = 73.5 (Montagenaht, Herstelllänge 6 m)	Einschweißstutzen (HV-/Kehlnaht, innen glatt)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S24	Rohrstoß X = 79.5 (Montagenaht, Herstelllänge 6 m)	Einschweißstutzen (HV-/Kehlnaht, innen glatt)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl
S25	Rohrstoß X = 85.5 (Montagenaht, Herstelllänge 6 m)	Einschweißstutzen (HV-/Kehlnaht, innen glatt)	Werkstatt	VT 100 %; RT/PMI nach 10 %-Auswahl

Rohr–Rohr-Rundnähte der Herstelllängen (Rohrstöße innerhalb der geraden Abschnitte, z. B. auf der Rohrbrücke) sind in der Spoolzeichnung des Detail Engineering zu ergänzen und nach demselben Prüfplan zu behandeln.

12.4 Schweiß- und Prüfplan

Thema	Festlegung
Schweißverfahren	WIG (141) für Wurzel und Fülllagen bis 4,5/5,0 mm, Formiergas (Ar/H2 bzw. N2) innen, Zusatzwerkstoff 1.4430 (ER 316L Si); WPS/WPQR nach EN ISO 15614-1, Schweißer nach EN ISO 9606-1
Sichtprüfung VT	100 % aller Nähte, innen und außen (Endoskop für Innenwurzel an Bögen/Stutzen), Bewertungsgruppe B nach EN ISO 5817
Durchstrahlungsprüfung RT	10 % der Rundnähte (mind. 2 von 25), Auswahl durch Prüfaufsicht mit Schwerpunkt Montagenähte, EN ISO 17636-1, Zulässigkeitsgrenze 1 nach EN ISO 10675-1
Werkstoffidentifikation PMI	10 % der Bauteile (Rohre, Bögen, Flansche, Armaturen) stichprobenartig, Röntgenfluoreszenz; Verwechslungsprüfung Zusatzwerkstoff
Oberflächenbehandlung	Beizen und Passivieren aller Nähte (Beizpaste/Tauchbeize), Anlauffarben entfernen; Innenoberfläche Ra ≤ 3,2 µm, produktberührt frei von Schweißspritzern
Maßprüfung	Spoolmaße gegen Isometrie ISO-1001-001 (Toleranz ± 3 mm je Spool, Flanschwinkligkeit ≤ 1 mm/100 mm), Bogenradius 750 mm
Druckprüfung	Hydrostatisch 6,0 bar(g) nach Kap. 11.3 (nach Montage, vor Isolierung/Kennzeichnung), Trocknung mit N2
Dokumentation	Schweißnahtplan mit Schweißer-Kennzeichnung, Prüfberichte VT/RT/PMI, Zeugnisse 3.1 nach EN 10204 mit Zuordnung Bauteil ↔ Charge, Druckprüfprotokoll

12.5 Montagefolge

1. Stahlbau Rohrbrücke RB-01 (Stützen, Längs-/Querträger, Fachwerk Mittelfeld, Verbände) errichten, Auflagerbleche und Festpunktkonstruktion X = 80,000 herstellen; Stahlbauabnahme.
2. Vorgefertigte Spools SP-1001-01 … -05 (Werkstattfertigung inkl. VT/RT, Beizen) anliefern, Kennzeichnung und Zeugnisse prüfen; Wanddurchführungen X = 60,000 und X = 88,000 herstellen (Hülsrohre).
3. Spools auf der Rohrbrücke und in den Gebäuden einheben, Montagenähte S4 (E2) und S8 (E4) sowie Rohrstöße schweißen, Rohrweiche W-201 und Kugelhahn HV-1001 einflanschen.
4. Anschluss an die Apparate: Flansch N3 B-101 (mit Steckscheibe) und Flansch N1 B-201 spannungsfrei anschließen (Flanschparallelität, keine Zwangskräfte), Dichtungen PTFE Form IBC, Schrauben A4-70 mit definiertem Anzugsmoment über Kreuz.
5. Halterungen H-1001-01 … -12 gemäß Halterungsliste montieren (Gleitlager mit PTFE-Einlage, Führungen, Festpunkt), Kaltstellung prüfen, Montagetemperatur dokumentieren.
6. Druckprüfung hydrostatisch 6,0 bar(g) (Kap. 11.3) mit entmineralisiertem Wasser, Sichtprüfung aller Verbindungen, Protokoll.

7. Entleeren und Trocknen mit Stickstoff (Taupunkt ≤ −20 °C), Innenreinheit prüfen (Endoskopie an Bögen), Steckscheibe N3 in Betriebsstellung.
8. Potentialausgleich: Erdungslaschen an allen 7 Flanschverbindungen, Anschluss an Anlagenerde, Messung R < 10^6 Ω (TRGS 727), Protokoll.
9. Kennzeichnung nach DIN 2403 (Gruppe 5, schwarz, Zusatzschild „Pulver/Produkt“, Fließrichtungspfeile) und Leitungsnummern; Halterungs- und Nahtkennzeichnung gemäß Isometrie; As-built-Aufnahme.

13 Nächste Schritte Detail Engineering

Diese Technische Grundlage schließt das Basic Engineering ab. Die folgende Checkliste benennt die im Detail Engineering zu bearbeitenden Punkte mit Verantwortlichkeit (Rolle) und Phase. Die Reihenfolge entspricht den fachlichen Abhängigkeiten (Rohrklasse → 3D-Modell → Spannungsberechnung → Halterungen/Stahlbau → Isometrie-Freigabe).

Nr.	Aufgabe	Inhalt / Ergebnis	Verantwortlich	Phase
1	Rohrklassenfreigabe	Rohrklasse A1 (Kap. 6) mit Betreiberstandards abgleichen, Armaturenspezifikationen und Dichtungswerkstoff (PTFE, Produktkontakt) freigeben; Rohrklasse B1 des Bestands (Kühlwasser) beistellen.	Piping Lead / Betreiber	Start Detail Engineering
2	3D-Modell in E3D/PDMS	Übernahme der Trasse (Knoten P0…P1, Halterungen, Einbauten) in das Anlagen-3D-System, Modellierung Stahlbau RB-01, Bestandsleitungen und Gebäude; Kollisionsprüfung (Clash Check) inkl. Bedien- und Wartungsräume (Mannlöcher, Filterwechsel F-201).	Piping Designer	DE Phase 1
3	Spannungsberechnung	Berechnung nach EN 13480-3 (ROHR2/CAESAR II) für 150-PC-1001-A1 mit Lastfällen Kap. 11.2, Stutzenlasten B-101 N3 / B-201 N1, Festpunktkräfte, Halterungslasten; Freigabe der Halterungskonzeption.	Stress-Ingenieur	DE Phase 1
4	Halterungsdetails / Stahlbaustatik	Halterungsdetailzeichnungen H-1001-01…12 (Schellen, Gleitplatten, Festpunkt), zusätzliche Führung Steigrohr E5–E6 und Auflager W-201; Statik Rohrbrücke RB-01 nach EN 1993 mit Rohrlasten aller Leitungen, Windlast, Festpunktkraft.	Piping Support Engineer / Stahlbau	DE Phase 2
5	Behälterberechnung AD 2000	Festigkeitsberechnung B-101 (AD 2000 B-Reihe, S1 Wechselbeanspruchung, Sattelnachweis für L = 50 m, Stutzenlasten) und B-201 durch den Behälterhersteller; Konformitätsbewertung Kat. IV mit Benannter Stelle.	Behälterhersteller / Benannte Stelle	DE Phase 1–2
6	Explosionsschutzdokument	Zoneneinteilung, Zündquellenbewertung, Nachweis Inertisierung (O2-Grenzwert, QIRA+ 2021 Redundanz), Gerätekategorien ATEX, Entkopplungseinrichtungen (Z-100, Z-201, RV-2009), ggf. Druckentlastung B-201/F-201.	HSE / Ex-Schutz-Beauftragter	DE Phase 1
7	PLT-Spezifikationen	Datenblätter aller PLT-Stellen (Kap. 8), SIL-Einstufung und Verifikation (LSA++ 2012, QIRA+ 2021), Verriegelungsmatrix I-1…I-5, Steuerungsbeschreibung Batch-Ablauf (Kap. 2.3), Ex-Schutz der Feldgeräte.	PLT / EMSR	DE Phase 2
8	Isometrie-Freigabe	Ausführungsisometrie ISO-1001-001 mit Spoolzeichnungen, Rohrstößen, Nahtnummern, Halterungspositionen; Prüfung gegen 3D-Modell und Spannungsberechnung; Freigabe zur Vorfertigung.	Piping Lead	DE Phase 2
9	Prüfplan / QS	Qualitätsplan (ITP) mit Haltepunkten: Zeugnisprüfung 3.1, WPS/WPQR, VT/RT/PMI, Beizen, Maßkontrolle, Druckprüfung, Trocknung, Erdungsmessung; Abnahmeprotokolle.	QS / Schweißaufsicht	vor Vorfertigung
10	Montage- und Inbetriebnahmeplanung	Montageablauf Kap. 12.5 mit Kran-/Hebekonzept Rohrbrücke, Straßensperrung Werkstraße, Freischaltung Bestandsanschlüsse TP-01…TP-06; Inbetriebnahmeprogramm (Dichtheit, Inertisierung, Probeförderung mit Stufenplan 5/10 t/h, Loop-Checks).	Montageleitung / Inbetriebnahme	vor Montage
11	As-built-Dokumentation	Nachführung von Layout, Isometrie, R&I, 3D-Modell und dieser Technischen Grundlage auf Ausführungsstand; Übergabe Prüfdokumentation, Betriebsanleitung, Explosionsschutzdokument an den Betreiber.	Dokumentation / Projektleitung	Projektabschluss

14 Anhang

14.1 Dokumentenliste

Dokument-Nr.	Bezeichnung	Art	Rev.	Datum
LAY-1001-001	Aufstellungsplan (Draufsicht + Ansicht)	Zeichnung	A	09.09.2026
ISO-1001-001	Isometrie 150-PC-1001-A1	Zeichnung	A	09.09.2026
PID-1001-001	R&I-Fließbild (DIN EN ISO 10628 / DIN EN 62424)	Zeichnung	A	09.09.2026
3D-Modell	Three.js-Viewer (3D_Modell_Viewer.html)	Modell	A	09.09.2026
DOC-1001-001	Technische Grundlage (dieses Dokument)	Dokument	A	09.09.2026
model.json	Zentrales Anlagenmodell (Datenquelle aller Zeichnungen und Listen, build/model.json)	Datenbasis	A	09.09.2026

14.2 Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
DN	Nennweite (Diamètre Nominal), z. B. DN150
PN	Nenndruck (Druckstufe) der Flansche/Bauteile, z. B. PN16
PS	Maximal zulässiger Druck (Druckgeräterichtlinie), bar(g)
TS	Maximal/minimal zulässige Temperatur (Druckgeräterichtlinie), °C
bar(g)	Überdruck gegenüber Atmosphäre
FL / GL / FP	Führungslager / Gleitlager / Festpunkt (Halterungstypen, Kap. 10)
PCE	Process Control Engineering – PLT-Stellenkategorie nach DIN EN 62424
PLT	Prozessleittechnik
TP	Tie-in Point – Anschlusspunkt an Bestand/Werksnetz
RB	Rohrbrücke
OK / UK	Oberkante / Unterkante (z. B. Träger)
FFB	Fertigfußboden (Bezugshöhe ±0,000)
WD	Wanddurchführung
SP	Spool (vorgefertigter Rohrleitungsabschnitt)
VT / RT / PMI	Sichtprüfung / Durchstrahlungsprüfung / Positive Material Identification (Werkstoffidentifikation)
WPS / WPQR	Schweißanweisung / Schweißverfahrensprüfung
DGRL	Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU
ATEX	Richtlinie 2014/34/EU (Explosionsschutz, Geräte)
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
SIL	Safety Integrity Level (IEC 61511)
R&I	Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild (P&ID)
N2 / IA / PA / PC / KW	Stickstoff / Instrumentenluft / Prozessabluft / Pulverförderung / Kühlwasser (Mediumkürzel)
St 1	Staubexplosionsklasse (Kst ≤ 200 bar·m/s)

Abkürzung	Bedeutung
ZSO / ZSC	Endlagenschalter offen / geschlossen
c1 / c2	Korrosionszuschlag / Verschleißzuschlag

14.3 Änderungsindex

Rev.	Datum	Änderung	Erstellt	Geprüft
A	09.09.2026	Ersterstellung – Konzept / Basic Engineering, zur Prüfung	KI-Engineering (Claude)	–

> Alle Zahlenwerte sind Auslegungsannahmen für ein Beispielprojekt und vor Ausführung projektspezifisch zu bestätigen. Dieses Dokument wurde automatisiert aus build/model.json erzeugt (gen/docs_html.py); Änderungen sind im Modell vorzunehmen, damit Layout, Isometrie, R&I und Technische Grundlage konsistent bleiben.