

🌐 www.dvgw-forschung.de

Technisches Umstellhandbuch für Verteilnetze (TUHVe)

Abschlussbericht

Christopher Knorr, M.Eng.

DBI - Gastecnologisches Institut gGmbH, Freiberg

Marco Petersilge, M.Eng.

DBI - Gastecnologisches Institut gGmbH, Freiberg

Dipl.-Ing. (FH) Stefan Schütz

DBI - Gastecnologisches Institut gGmbH, Freiberg

Technisches Umstellhandbuch für Verteilnetze (TUHVe)

Abschlussbericht

Januar 2026

DVGW-Förderkennzeichen G 202522

Danksagung

Die Verfasser bedanken sich an dieser Stelle für die Projektförderung durch den DVGW sowie bei allen weiteren Projektpartnern, die bei der Durchführung dieses Vorhabens Unterstützung geleistet haben.

Hierzu zählen die Unternehmensvertreter, Torsten Lotze (Avacon Netz GmbH), Nils Keller, Björn Munko, Tonish Pattima, Paul Platzek, Janosch Rommelfanger (alle: DVGW e.V.), Matthias Stierstorfer, Julian Zimmer (beide: Energienetze Bayern GmbH & Co. KG), Manuel Behlke (GELSENWASSER Energienetze GmbH), Aljoscha Baack (Hamburger Energienetze GmbH), Simon Batdorf (Thüga AG), Jens Kleine Vennekate, Carsten Stabenau, Frank Swoboda (alle: Westnetz GmbH), die sich an dem Workshop aktiv beteiligt und wertvolle Hinweise für das Projekt gegeben haben.

Besonderer Dank gilt auch den Mitgliedern der Projektbegleitgruppe, die das Forschungsvorhaben während der gesamten Laufzeit engagiert begleitet und konstruktiv unterstützt haben.

Mitglieder der Projektbegleitgruppe waren: Torsten Lotze (Avacon Netz GmbH), Björn Munko, Tonish Pattima, Janosch Rommelfanger (alle: DVGW e.V.).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Scope.....	1
1.2	Einordnung des Handbuches innerhalb der DVGW-Umstellprojekte	1
2	Auslegungsdruck \leq 5 bar.....	3
2.1	Notwendige Dokumentation	3
2.1.1	Errichtung.....	3
2.1.2	Betrieb.....	4
2.1.3	Inventarisierung.....	5
2.2	Beschreibung der Wasserstofftauglichkeit	5
2.2.1.1	Stahl-Rohrleitungen	6
2.2.1.2	Kunststoff-Rohrleitungen.....	6
2.2.1.3	Duktilguss-Rohrleitungen	7
2.2.1.4	Absperrarmaturen	7
2.3	Einzuleitende betriebliche Maßnahmen	10
3	Auslegungsdruck $>$ 5 bar bis 16 bar	12
3.1	Notwendige Dokumentation	12
3.1.1	Errichtung.....	12
3.1.2	Betrieb.....	13
3.1.3	Inventarisierung.....	14
3.1.4	Ersatzmaßnahmen	15
3.2	Beschreibung der Wasserstofftauglichkeit	16
3.2.1.1	Stahl-Rohrleitungen	16
3.2.1.2	Kunststoff-Rohrleitungen.....	17
3.2.1.3	Duktilguss-Rohrleitungen	17
3.2.1.4	Absperrarmaturen	17
3.3	Einzuleitende betriebliche Maßnahmen	18
4	Erfahrungen aus Umstellprojekten	20
5	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	26
7	Abbildungsverzeichnis.....	30
8	Tabellenverzeichnis.....	30
9	Anhang.....	32

1 Einleitung

Die Wasserstofftauglichkeit von Gasverteilnetzen wurde in den vergangenen Jahren durch zahlreiche DVGW-Forschungsprojekte bestätigt. Für eine Umstellung der Verteilnetze konnten dabei keine technischen Limitierungen ermittelt werden. Dies soll sich auch in einer vereinfachten Betrachtung der notwendigen Dokumentation zur Errichtung und der Analyse der Wasserstofftauglichkeit widerspiegeln. Hierfür soll das vorliegende technische Handbuch dienen, das die Tauglichkeit der Verteilnetze aufzeigt und den Verteilnetzbetreiber bei dem technischen Vorhaben einer Umstellung unterstützt.

Konkret hat dieses Umstellhandbuch zum Ziel, die technischen Schritte für die Umstellung von Erdgasverteilnetzen auf Wasserstoff zu beschreiben. Hierbei werden ausschließlich Stahl-Rohrleitungen, Kunststoff-Rohrleitungen, Duktulguss-Rohrleitungen und Absperrarmaturen im Verteilnetz kleiner gleich 16 bar betrachtet. Neben der Darlegung der Wasserstofftauglichkeit der Komponenten im Verteilnetz anhand der Forschungsergebnisse, soll zudem auf die erforderliche Dokumentation hingewiesen werden. Aufgrund von abweichenden Anforderungen, wird zudem hinsichtlich der Druckstufen kleiner gleich und größer 5 bar differenziert. Weiterhin sollen operative Bewertungskriterien, einzuleitende betriebliche Maßnahmen und Erfahrungen aus Umstellprojekten von Netzbetreibern im Umstellhandbuch mitberücksichtigt werden.

Es wurden zuerst die einzelnen Schritte für die technische Bewertung bei einer Umstellung detailliert beschrieben und diese zur besseren Übersichtlichkeit in Prozessablaufdiagramme überführt. Anschließend sollten diese Entwürfe in einem Workshop mit Vertretern von Gasverteilnetzbetreibern, die bereits Erfahrungen mit Umstellprojekten sammeln konnten, vorgestellt und diskutiert werden. Eine Übersicht aus diesen Projekten mit den enthaltenen Betriebsdaten und Kernergebnissen sollte ebenfalls mit erarbeitet werden. Zudem sollte der Abgleich mit den aktuellen Ergebnissen der DVGW-Gremien sichergestellt werden.

1.1 Scope

Nicht im hier beschriebenen Umstellhandbuch enthalten sind die Umstellung von Stahl-Rohrleitungen inklusive der Absperrarmaturen mit einem Auslegungsdruck größer 16 bar, Gas-Druckregel- und -messenanlagen, Inneninstallationen oder Endgeräte. Weiterhin beschränkt sich die Betrachtung auf die technische Umstellung. Weitere im Rahmen einer Umstellplanung erforderlichen Aspekte, wie Kundenanalyse, Bedarfsermittlung oder Zielnetzplanung werden nicht betrachtet. Zudem sind weder gesetzliche Rahmenbedingungen noch ein zeitlicher Ablaufplan Teil der Projektziele.

1.2 Einordnung des Handbuches innerhalb der DVGW-Umstellprojekte

Im Rahmen von DVGW-Projekten gibt es teilweise bereits abgeschlossene und teilweise noch laufende Vorhaben, die sich ebenfalls mit der Umstellthematik beschäftigen. Die Projekte sind untereinander abgegrenzt. Dennoch soll auf diese hingewiesen werden, da sich unter Berücksichtigung aller Projekte ein Bild mit hoher Vollständigkeit zusammensetzt.

In PORTAL GREEN II erstellen die Projektpartner DBI Gas- und Umwelttechnik, DVGW und Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit bis Ende 2025 einen genehmigungsrechtlichen und einen technischen Leitfaden für den Neubau, die Umstellung, den Betrieb und die Genehmigung von Wasserstoff-Netzinfrastrukturen [1]. In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) geförderten Projekt unterstützen zudem zahlreiche assoziierte Partner. Die Leitfäden bieten zum einen Vorhabenträgern, Behörden, Planern und Betreibern praxisnahe Unterstützung bei Genehmigung, Planung, Bau, Umstellung und Betrieb von Wasserstoffnetzen und Power-to-Gas-Anlagen. Zum anderen fassen diese die relevanten Forschungsergebnisse zusammen und dienen damit als umfassendes Nachschlagewerk.

Im bereits abgeschlossenen DVGW-Projekt G 202312 „H₂-Umstellmanagement für Gasverteilnetze (H₂Umstell)“ wurde die Entwicklung von effizienten und übergreifenden Umstellprozessen auf 100 % Wasserstoff in den Bereichen Gasverteilnetze, Hausinstallation und Gasanwendung vorangetrieben [2]. Schwerpunkte waren dabei verschiedenen Prozesse, wie die Erstellung eines Gasnetzgebietstransformationsplans, die Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen, die Erarbeitung eines zeitlich-räumlichen Umstellkonzeptes und die Durchführung der Netzumstellung bzw. Inbetriebnahme.

Beim im Oktober 2025 abgeschlossenen DVGW-Projekt G 202413 „Betriebliche- und Sicherheitsaspekte bei 100 %-H₂-umgestellten Gasnetzen < 16 bar (H₂-Betrieb)“ wurden vor allem die Erfahrungen mit der Sicherheit und der Organisation von bereits mit Wasserstoff betriebenen Netzen ausgewertet [3]. Es wurden demnach die betrieblichen Aspekte, wie die Anlagensicherheit als auch die organisatorischen und personellen Schutzmaßnahmen bei der Wartung und Instandhaltung bei Netzen mit einem Auslegungsdruck von maximal 16 bar betrachtet.

Im Jahr 2021 wurden bereits Fragen zu zulässigen Strömungsgeschwindigkeiten in Rohrleitungen im Wasserstoffbetrieb diskutiert [4]. In einer analytischen Berechnung wurde aufgezeigt, dass trotz der zu erwartenden hohen Strömungsgeschwindigkeiten kein höheres Risiko beim Transport von Wasserstoff in Bezug auf Staub- oder Flüssigkeitsmitriss besteht. Gleiches gelte auch in Bezug auf die mechanischen bzw. hydraulischen Einwirkungen auf die Rohrwandung, so dass deutlich höhere Strömungsgeschwindigkeiten im Wasserstoffbetrieb zulässig sind.

An diesen positiven Aussagen knüpft das noch bis Ende 2025 laufende DVGW-Projekt G 202330 „Zulässige Strömungsgeschwindigkeiten von Wasserstoff in Gasdruckregelanlagen (HySpeed)“ an, das die Auswirkungen von höheren Strömungsgeschwindigkeiten von Wasserstoff auf Gasdruckregelanlagen und ihre Komponenten bis 16 bar untersucht [5]. Simulationsberechnungen haben bis zu einer Strömungsgeschwindigkeit von 60 m/s keine hydraulischen oder akustischen Einschränkungen ergeben. In praktischen Untersuchungen konnte dies bis 40 m/s bestätigt werden, eine höhere Geschwindigkeit war aufgrund des Versuchsaufbaus nicht möglich.

2 Auslegungsdruck ≤ 5 bar

Im nachfolgenden Kapitel werden die notwendige Dokumentation, die Wasserstofftauglichkeit sowie die einzuleitenden betrieblichen Maßnahmen im Hinblick auf die Umstellung von Verteilnetzen mit Drücken kleiner gleich 5 bar beschrieben.

Es wird eingangs darauf hingewiesen, dass nach derzeitigem Stand (10.12.2025) bei einer Umstellung auf Wasserstoff eine gutachterliche Äußerung durch einen Sachverständigen gemäß §113c des Gesetzes über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) erforderlich ist [6]. Daher werden nachstehend die notwendigen Abstimmungen mit einem Sachverständigen mit aufgeführt. Dies kann sich unter Umständen mit der Novellierung des EnWG für die Druckstufe bis einschließlich 5 bar ändern [7]. Damit würden die Bestrebungen des DVGW zur Vereinfachung des Prozesses (Wegfall der gutachterlichen Äußerung eines Sachverständigen sowie keine Anzeigepflicht bei der Behörde) berücksichtigt werden. Eine Abschlussbescheinigung durch einen Sachkundigen ist dennoch erforderlich.

2.1 Notwendige Dokumentation

Die zu den Beschreibungen dazugehörigen Prozessablaufdiagramme können den Anhängen 1 bis 4 entnommen werden.

2.1.1 Errichtung

Für die Netzdokumentation sind von Versorgungsunternehmen die im Arbeitsblatt GW 120 [8] aufgeführten Mindestanforderungen und Standards zu beachten. Zur Sicherung der Qualität sind die erfassten Netzdaten vollständig und aktuell zu halten [9].

Folgende Unterlagen müssen auf Vorhandensein geprüft werden. Liegen diese vor, sind die beschriebenen Vorgehensweisen zu wählen, ansonsten müssen zusätzliche betriebliche Maßnahmen eingeleitet werden (s. Kapitel 2.3). Weiterhin kann bei fehlenden Unterlagen, wie z.B. der Abnahmebescheinigung eine Ersatzdokumentation nach G 453 (A) [10] aufgebaut werden.

Abnahmebescheinigung durch Sachkundige

Die Abnahmebescheinigung durch Sachkundige gemäß G 462 (A) [11] ist bei Netzkomponenten von einem Sachverständigen zu bewerten. Die notwendige abschließende Bescheinigung ist abhängig vom Baujahr (ab 1967 Bescheinigung über den Erfolg des Druckversuchs, ab 1967 Abnahmebescheinigung nach G 462 (A)). Es wird zudem eine Bestätigung benötigt, dass zum Zeitpunkt der Errichtung die Unterlagen vollständig vorlagen.

Unterlagen der Druckprüfung

Die Unterlagen der Druckprüfung nach G 469 (A) [12] sind mit einem Sachverständigen zu bewerten. Eine erneute Druckprüfung gem. G 469 (A) [12] ist nur nötig, falls die erstmalige Druckprüfung nicht mehr aussagekräftig ist oder die Ergebnisse der Gasrohrnetzüberprüfung nicht vorliegen.

Trassen- und Bestandspläne, Stückliste

Die Inventarisierungslisten sind mit den Informationen aus den Trassen- und Bestandsplänen sowie der Stückliste zu befüllen. Zu berücksichtigen sind auch Dokumente von Umlegungen, Reparaturen und Einbauteilen sowie geplante Austauschmaßnahmen. Siehe auch Kapitel 2.1.3.

Hinweis: Gemäß G 453 (A) [10] ist die Führung eines Rohrbuches bei kleiner gleich 5 bar nicht verbindlich. Beim Führen eines Rohrbuches kann sich an G 462 (A) [11] orientiert werden.

Sonstige Dokumente für Rohre und Komponenten

Die sonstige Dokumentation für Rohrleitungen und Komponenten ist ebenfalls für die Befüllung der Inventarisierungsliste zu verwenden. Da die Eigenschaften von Bauteilen nicht nach DIN EN 10204 [13] zu bescheinigen sind, muss geprüft werden, ob Informationen zu Bauteilen ggf. aus anderen Dokumenten entnommen werden können (z.B. Armaturenkarten, Einkaufslisten etc.).

2.1.2 Betrieb

Folgende Unterlagen müssen auf Vorhandensein geprüft werden¹. Liegen diese vor, sind die beschriebenen Vorgehensweisen zu wählen, ansonsten müssen zusätzliche betriebliche Maßnahmen eingeleitet werden (s. Kapitel 2.3).

Schadensstatistik

Für die Schadensstatistik ist eine Einzelbewertung in Abstimmung mit einem Sachverständigen vorzunehmen. Zu berücksichtigen sind auch Angaben zur Verlegung in bebauten Gebieten (Entfernung, Deckungshöhe, Erweiterter Prüfumfang vorhanden) und Angaben über besondere äußere Einflüsse wie z.B. Bergbaueinwirkung, korrosive Böden, Bebauung. Eine Staffelung nach Linien- und Punktobjekten ist erforderlich.

Umgebung & äußere Einflüsse

Hierbei ist eine Bewertung der Rohrnetzüberprüfung gemäß G 465-1 (A) [9] mit einem Sachverständigen vorzunehmen. Eine Betrachtung der Überprüfungen der letzten Jahre (bestenfalls sechs bis zehn Jahre) wird dabei empfohlen. Die genaue Dokumentation der Schadensart sowie der entsprechenden Reparaturmethode ist ebenfalls wichtig.

Dichtheitsnachweis

Die Bewertung ist mit einem Sachverständigen abzustimmen. Es sind die Überprüfungs-kriterien und -zeiträume des Arbeitsblattes G 465-1 (A) [9] zu beachten.

Wartung & Inspektion

Die Bewertung ist in Abstimmung mit einem Sachverständigen durchzuführen und beinhaltet z.B. die Gängigkeit von Armaturen sowie eine Einschätzung des Zustandes. Relevante Arbeitsblätter sind G 441 (A) [14] für Absperrarmaturen und G 465-1 (A) [9] für Gasrohrnetze.

¹ Die bisher transportierten Medien sowie der Zustand der Umhüllung können zusätzlich zur Bewertung herangezogen werden.

2.1.3 Inventarisierung

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 erwähnt, empfiehlt es sich eine möglichst vollständig befüllte Inventarisierungsliste vorliegen zu haben. Für die Befüllung können folgende Informationen mitgeführt werden:

- Komponente

Je nach Komponentenart sind weiterführende Informationen notwendig. Handelt es sich um Rohrleitungen, Fittings oder Armaturen, so sind der Werkstoff (Stahl, PE, PVC und Duktillguss) so vollständig wie möglich anzugeben.

- Hersteller & Produktreihe

Die Hersteller- und Produktangaben sind so vollständig wie möglich aufzuführen. Anhand von Herstellerangaben zur Wasserstofftauglichkeit der Produkte können Bestandskomponenten anschließend zielgerichtet zugeordnet werden, z.B. mit der DVGW-Datenbank verifHy.

- Baujahr

Das Baujahr kann ausschlaggebend sein für die Zustandsbewertung der Komponente. Hieraus kann auch der generelle Austauschbedarf von Komponenten aufgrund des Alters abgeleitet und ggf. Kosten gespart werden. Für die Gültigkeit von Herstellererklärungen zur Wasserstofftauglichkeit kann das Baujahr zudem einen beschränkenden Einfluss haben.

- Anzahl/ Länge

- Auslegungs-/ Betriebsdruck

- Nennweite/ Durchmesser

2.2 Beschreibung der Wasserstofftauglichkeit

Bei Verteilnetzen mit einem Auslegungsdruck kleiner gleich 5 bar besteht bei einer Umstellung auf Wasserstoff keine Notwendigkeit Komponenten pauschal auszutauschen. Zustandsbedingt können vereinzelt Austauschmaßnahmen erforderlich werden. Nachfolgend werden für die Rohrleitungen, differenziert nach den Werkstoffen Stahl, Kunststoff und Duktillguss, sowie für die Absperrarmaturen die Forschungsvorhaben im Detail erläutert, die zu den Erkenntnissen der Wasserstofftauglichkeit führten. Zudem werden in Kapitel 4 die wesentlichen bisher umgesetzten bzw. vorbereiteten Umstellprojekte vorgestellt, deren Ergebnisse diese Aussagen unterstützen.

Die Prozessablaufdiagramme für die Rohrleitungen können dem Anhang 9 und für die Armaturen dem Anhang 10 entnommen werden.

Für weitere Komponenten und auch die produktspezifische Bewertung kann zudem die DVGW-Datenbank verifHy verwendet werden.

2.2.1.1 Stahl-Rohrleitungen

Für Stahl-Rohrleitungen kleiner gleich 5 bar kann eine Wasserstofftauglichkeit aufgrund der Erkenntnisse aus dem DVGW-Projekt „Begrenzung des Anwendungsbereiches für bruchmechanische Bewertung von Gasleitungen nach DVGW G464 (BAG 464)“ [15] angenommen werden. In diesem wurden bruchmechanische Berechnungen für Stahl-Rohrleitungen bei unterschiedlichen Drücken und Durchmessern durchgeführt. „Für den größten Anteil an Gasleitungen der Gasverteilung bis 16 bar ergeben sich sehr hohe Werte für zulässige Lastwechsellasten (> 100.000 VLW). Bis 12 bar Betriebsdruck sind (unter Einhaltung der benannten Randbedingungen) bei 100 Vol.-% Wasserstoff keine bruchmechanischen Bewertungen erforderlich [...]“ [15].

2.2.1.2 Kunststoff-Rohrleitungen

Rohre und Formteile u.a. aus den Werkstoffen PE80, PE100 und PE100-RC sind laut dem DVGW-Merkblatt G 408 [16] und der Stellungnahme des Kunststoffrohrverbands [17] grundsätzlich für die Verteilung von Wasserstoff geeignet. Dies bestätigen unter anderem auch folgende Forschungsergebnisse:

- NATURALHY-Untersuchungen zur Degradation von Materialeigenschaften fanden weder für gebrauchte noch für neue PE-Scheiben negative Einflüsse durch Erdgas-Wasserstoff-Gemische bzw. reinen Wasserstoff [18].
- Ein vierjähriger Feldversuch mit PE80 und PE100 bei 100 Vol.-% Wasserstoff und etwa 4 bar für Bestands- und Neuleitungen zeigte keinerlei nennenswerte Einflüsse auf Materialeigenschaften gegenüber Erdgasbetrieb [19].
- Seit 2019 wird im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte („H₂-Netz“, „H₂-Infra“) mit Projektpartnern (MITNETZ Gas, TÜV SÜD, DBI, HTWK Leipzig) ein Wasserstoffverteilnetz auf Basis von Kunststoff-Rohrleitungen betrieben [20]. Bei unterschiedlichen Kunststoffen (PE100, PE100-RC, PE-Xa), Verlege- sowie Fügeverfahren konnte kein negativer Einfluss von Wasserstoff festgestellt werden.
- Zwei Rohre aus PE100-RC wurden in [21] über einen Zeitraum von 1.000 Stunden bei einem Druck von 2 bar und Raumtemperatur mit Wasserstoff beaufschlagt, um den Einfluss auf das Fügen mit Schweißmuffen zu untersuchen. Das Elektroschweißverfahren wurde ohne nennenswerte Probleme durchgeführt. In Sichtprüfungen und Schältests konnten keine negativen Einflüsse von Wasserstoff festgestellt werden. Ein Versagen des Verbindungsbereichs wurde nicht beobachtet.
- Im Projekt HyDeploy [22] wurden Verbindungen von Schweißmuffen und Schweißsateln untersucht. Dafür wurden Rohrabschnitte für sechs Wochen bei 2 bar mit 100 Vol.-% Wasserstoff beaufschlagt. Die Dichtheit wurde nach einer erneuten hydrostatischen Prüfung nachgewiesen. Durch Röntgen sowie einer Farbeindringprüfung konnten keine Anzeichen von Rissen oder sonstigen Schäden an den Schweißnähten festgestellt werden.

Es kann daher geschlussfolgert werden, dass alle etablierten materialschlüssigen und mechanischen Verbindungstechnologien bei fachgerechter Ausführung auch für Erdgas-Wasserstoff-Gemische sowie reinen Wasserstoff geeignet sind. Schweißverbindungen besitzen die gleichen Materialeigenschaften wie das Basis-Material. Die oben genannten Rohre und Komponenten sind dementsprechend für Wasserstoff geeignet.

2.2.1.3 Duktiguss-Rohrleitungen

Im DVGW-Projekt „H₂-Toleranz von Duktiguss (DUWA)“ [23] wurde die Wasserstofftauglichkeit von Duktigussystemen (Rohre, Verbinder, Dichtungen) für den Druckbereich kleiner gleich 16 bar betrachtet. In einer Literaturrecherche wurden unterschiedliche Untersuchungsergebnisse herausgestellt, wobei jüngste Ergebnisse aus Spanien bei einer Beaufschlagung mit Wasserstoff bei 150 mbar keine Hinweise auf eine Beeinträchtigung durch wasserstoffinduzierte Versprödungsmechanismen aufzeigten. In einer finnischen Veröffentlichung hingegen wurden die Wasserstoffversprödungseffekte bei einem Wasserstoffdruckäquivalent von mehreren hundert Bar nachgewiesen.

Bei Zug- und Kerbschlagbiegeversuche von Gusseisen bei einer Beladung mit reinem Wasserstoff bei 8 bar im Rahmen des Projektes HyDeploy2 [24] lag die Streuung der Kerbschlagarbeit noch im Streuband der Referenzprobe (ohne Wasserstoffbeladung) und es konnten ebenfalls keine erkennbaren Unterschiede beim Zugversuch festgestellt werden. Die fraktografische Bewertung zeigte, dass die Anwesenheit von Wasserstoff die Versagensmechanismen nicht veränderte, da auch bei der Referenz des Gusseisens eher eine spröde Bruchfläche zu beobachten war.

Des Weiteren wurden im DVGW-Projekt „DUWA“ bruchmechanische Berechnungen für einen MOP von 16 bar in Anlehnung an das Merkblatt G 464 (M) [25] durchgeführt, welches ein Risswachstumsmodell verwendet, das für Rohrleitungen aus Stahl konzipiert ist [23]. Aufgrund der konservativen Annahmen der Berechnungsparameter und der Größenordnung der Ergebnisse kann angenommen werden, dass ein Versagen von Duktigussrohren durch Risswachstum nicht als relevant anzusehen ist.

Weiterhin wurden die Verbinder und Dichtungen von Duktigussystemen betrachtet [23]. Sieben Dichtungen wurden dabei untersucht und die ermittelten Leckageraten als vernachlässigbar eingestuft. Zudem konnte aus den Dichtheitsuntersuchungen von elf Verbinderstellen bei Drücken zwischen 60 und 80 mbar, abgeleitet werden, dass duktile Rohrverbindungen, welche für Erdgas geeignet sind, auch für Wasserstoff eingesetzt werden können.

Bei einer Umstellung auf Wasserstoff unter gleichen Betriebsbedingungen werden keine negativen Veränderungen erwartet. Trotz dessen wird empfohlen die positiven Ergebnisse zur Wasserstofftauglichkeit weiter stichprobenartig zu verifizieren.

2.2.1.4 Absperrarmaturen

Das DVGW-Merkblatt G 405 bezieht sich bei der Prüfung von Bestandsarmaturen im Wesentlichen auf vier abgeschlossene DVGW-Forschungsprojekte. Die Kernergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst, da diese direkt zur Bewertung herangezogen werden.

SyWeSt H₂

Im DVGW-Projekt „Stichprobenhafte Überprüfung von Stahlwerkstoffen für Gasleitungen und Anlagen zur Bewertung auf Wasserstofftauglichkeit“ (SyWeSt H₂) wurden für Deutschland typische Pipeline- und Rohrleitungsstähle² hinsichtlich des bruchmechanischen Verhaltens unter Wasserstoff untersucht [26]. Es wurden sowohl Bestandsleitungen als auch neue

² 14 HGS; 15 k (St.35); C22.3; C42; GJS 400; Grade A; GRS550/X80; GS C25 N; L290 NE; L360; L360 NB; L360 NE; L415; L485; P 460 NH; P355 NH; P355 NL1; P460 QL1; RR St 43.7; St35; St53.7; St60.7; StE 320.7; StE 360.7; TStE 355 N; WSTE 420; X56.7; X70

Rohrleitungen betrachtet. Ebenfalls mit untersucht wurden teilweise die Schweißnähte und Wärmeeinflusszonen.

Die Untersuchungen ergaben eine Wasserstofftauglichkeit aller geprüften Stähle, da die Mindestbruchzähigkeit eingehalten wurde und das Risswachstumsverhalten den Erwartungswerten entsprach [26]. Die Risswachstumskurven aus der ASME B31.12 wurden bestätigt, obwohl sehr unterschiedliche Werkstoffe bezüglich Festigkeit, Gefüge und Duktilität betrachtet wurden. Es wurde zudem eine Erweiterung des Gültigkeitsbereiches eingeführt.

Aufgrund der geringen Streubreite für das Risswachstum wird in SyWeSt H2 abgeleitet, dass auch vergleichbare Werkstoffe, die nicht im Prüfumfang enthalten waren, durch die Versuchsergebnisse abgedeckt sind [26]. Es wurden im Projekt auch vereinzelt für Armaturengehäuse üblicherweise verwendete Werkstoffe positiv getestet, die Bandbreite der häufig gegossenen Materialien lässt aber eine ähnliche Aussage wie bei den Rohrleitungen derzeit noch nicht zu.

Des Weiteren sei auf das DVGW-Forschungsprojekt „BAG 464“ (s. Kapitel 2.2.1.1) verwiesen, in dem für geringe Betriebsdrücke kein relevanter Wasserstoffeinfluss auf die Lebensdauer festgestellt werden konnte.

UKoBaRi H2 und UKoBaRiS H2

In den beiden DVGW-Forschungsprojekten „Untersuchungen der Wasserstoffverträglichkeit von Bestandsarmaturen“ (UKoBaRi H2) [27] und „Untersuchung von Schweißnähten an Bestandsarmaturen unter Wasserstoffatmosphäre“ (UKoBaRiS H2) [28] wurde die Materialtauglichkeit von Absperrarmaturen unter Wasserstoff bewertet. Es wurden dabei Finite-Elemente-Analysen für typische Armaturen-Bauformen, elastische Spannungsanalysen und bruchmechanische Berechnungen durchgeführt.

Zunächst wurden in [27] typische in Großarmaturen verwendete Werkstoffe³ aufgelistet, die in einer Initiative des DVGW PK 1-6-4 zusammengetragen wurden. In einer Literaturrecherche konnten für diese Bezeichnungen nur wenige relevante Quellen bezüglich des Einflusses von Druckwasserstoff gefunden werden, so dass diese um äquivalente Werkstoffbezeichnungen erweitert wurde. Vor allem für vergleichbare Werkstoffe, wie z.B. die API-5L-Stähle, wurden Veröffentlichungen mit Risswachstumsversuchsdaten, Zugversuchen und bruchmechanischen Kennwerten identifiziert.

In [27] wurde die Grundlage für die Qualifizierung von Bestandsarmaturen für den Wasserstofftransport erarbeitet. Anhand von zwei Armaturen wurden exemplarisch bruchmechanische Berechnungen durchgeführt. Für eine Armatur (DN 300) „[...] wurde dabei eine hinreichende Sicherheit gegen das spröde Versagen bzw. eine große Anzahl von Vollastwechseln nachgewiesen. Für die größere Armatur mit der Nennweite von DN 800 wurden hingegen deutlich geringere Vollastwechsel ermittelt.“ Dies lag an höheren Spannungen aufgrund des Betriebsdrucks und den nach Regelwerk angenommenen Schweißzugspannungen. Daher wurden zusätzliche Betrachtungen der Schweißnähte in [28] aufgenommen. Die kritischsten Bereiche in den Armaturen waren die umlaufende, nicht durchgeschweißte, Schweißnaht sowie die Rundnaht am Anschluss der Armatur an das Rohr.

³ P235(GH); P250(GH); P265(GH); P275(NL1); P285(NH/NL1); P355(NH/NL1/NL2/QH1); P420(NL2); P460(NL1/QH/QL2); L360NB; A105; A150; A350 LF2 Cl 1; A537 Cl 1; A694 F52; A694 F60; A694 F65; A694 F70; GS-C 25N; GP240(GH); TStE285; TStE355(N); StE420; WStE355; WStE420; C21; C22.3; C22.8; St35.8

Aufgrund der konservativen Annahmen für die Schweißeigenspannungen in der bruchmechanischen Berechnung und der damit verbundenen teils sehr niedrigen Restlebensdauer, wurden die Schweißeigenspannungen in einer numerischen Simulation für vier Armaturen (DN300 bis DN1400, P355 bis P460) ermittelt [28]. „Unter Berücksichtigung der numerisch ermittelten Eigenspannungen lassen sich für alle untersuchten Armaturen hinreichende Sicherheitsreserven beim Betrieb in Druckwasserstoff aufzeigen.“ Zudem erhöht sich die Anzahl an Volllastwechsel noch zusätzlich, in Abhängigkeit der Druckschwingbreite um den Faktor 3,5 bis 4 (70 statt 100 bar) oder Rissfortschrittskurve um den Faktor 2,5 bis 4 (SyWeStH2 statt ASME B31.12).

KuFeH₂

Im DVGW-Forschungsprojekt „Untersuchung des Langzeitverhaltens der Oberflächenbeschichtung der Kugelbeschichtungen und Federpakete von Absperrarmaturen unter H₂-Atmosphäre“ (KuFeH₂) wurde eine Belastungszeit von 50 Jahren für die Oberflächenbeschichtungen und Druckfedern unter reinem Wasserstoff simuliert [29].

Die Oberflächenbeschichtung wurde bei Bestands- und Neuarmaturen untersucht [29]. Diese wurden mit Druckwechseln unter 100 Vol.-% Wasserstoff beaufschlagt. Der Schichtaufbau wurde licht- und rasterelektronenmikroskopisch untersucht sowie vor und nach der Belastung die Härte gemessen. Es konnte kein signifikanter Einfluss durch Wasserstoff identifiziert werden, „[...] so dass von einer Eignung für den Einsatz unter 100 Vol.-% Wasserstoff ausgegangen werden kann.“ Lediglich bei einem Kugelsegment einer Bestandsarmatur wurde eine Rissaufweitung in der Oberflächenbeschichtung festgestellt, was jedoch keinen Einfluss auf die Haftfestigkeit hatte. Die Härtewerte vor und nach der Beaufschlagung lagen innerhalb der Standardabweichung und zeigten nur einen geringen Einfluss.

Weiterhin wurden Spiralfedern in [29] unter zyklischen Lastwechseln bei 100 Vol.-% Wasserstoff untersucht. Aufgrund der unveränderten Federkräfte konnte kein Einfluss ermittelt werden. „Vereinzelt konnte beobachtet werden, dass Federn während der Lastwechsel versagten. Der Anteil ist allerdings als gering zu bewerten und ist vermutlich eher auf Fehlbelastungen [...] zurückzuführen, so dass von einer generellen Eignung der untersuchten Federpakete ausgegangen wird.“

LeA H₂ + UWaSpin H₂

Im DVGW-Projekt „Leckratenerfassung der Wasserstoffdichtheit von Armaturen und Abdichtungssystem von Bestandsarmaturen“ (LeA H₂ + UWaSpin H₂) wurde die innere und äußere Dichtheit sowie das Langzeitverhalten im speziellen der äußeren Dichtheit an Schaltwellen und Spindeln an Bestandsarmaturen aus dem Gastransportnetz untersucht [30]. Darunter zählten:

- 13 Kugelhähne (DN25 bis DN400, DP25 bis PN100, verschiedene Dichtungen, Baujahre: 1992 bis neuwertig)
- vier Blockkugelhähne (DN4 bis DN20, PN100, PTFE-Dichtung, Baujahr: 2022)
- elf Schieber (DN100 bis DN250, PN16 bis PN70, metallisch dichtend, Baujahre: 1977 bis 1988)

Die Dichtheit wurde zunächst mit Stickstoff bei maximal zulässigem Nenndruck und anschließend mit Wasserstoff bei 0,5 bar sowie maximal zulässigem Nenndruck geprüft [30]. Alle Absperrarmaturen sind hinsichtlich der äußeren Dichtheit als blasendicht zu betrachten. Acht von 13 Kugelhähnen waren zudem hinsichtlich der inneren Dichtheit blasendicht. Durch das

Schmierens der Kugelsitzdichtungen konnte bei einem Kugelhahn die innere Dichtheit hergestellt werden. Alle Blockkugelhähne waren hinsichtlich der äußeren als auch inneren Dichtheit als blasendicht zu betrachten. "Allgemein zeigte sich, dass die gemessene äußere Leckage im Vergleich zu anderen Armaturen geringfügig höher war." Sieben von elf Schiebern waren hinsichtlich der inneren Dichtheit blasendicht. Bei zwei Schiebern wurden "einerseits ohne feststellbare blasenbildende innere Leckage, aber andererseits mit vergleichsweise sehr hohem Leckvolumen (bis 450.000 cm³/h) geprüft. Eine mögliche Erklärung kann die Richtung der Druckbeaufschlagung sein, die hier ggf. gegen die ursprüngliche Betriebsströmungsrichtung lag." Ein Schieber wäre nach Regelwerk trotz des Leckvolumens von 27 ml/h weiterhin zulässig.

Weiterhin wurden in [30] vier Kugelhähne (DN50 bis DN300, DP25 bis DP100, Baujahre: 1992 bis 2021), zwei Blockkugelhähne (DN20, PN100, Baujahr: 2022) und ein Schieber (DN150, PN70, Baujahr: 1985) für Langzeitversuche für drei Monate mit Nenndruck und 100 Vol.-% Wasserstoff ausgewählt. Die Langzeituntersuchung der äußeren Dichtheit zeigt, "[...], dass über den Messzeitraum von etwa drei Monaten keine wesentlichen Veränderungen des Dichtheitszustandes erfolgten" [ibid.]. Die Kugelhähne und Schieber wiesen "[...] über den gesamten Messzeitraum Leckagen in Größenordnungen von 10⁻⁶ bis 10⁻⁴ mbar*l/s auf." Die Blockkugelhähne zeigten "[...] vor allem hinsichtlich der gemessenen Endwerte (je Messtag) allgemein gute und konstante Messwerte. [...] Eine Blasenundichtigkeit der beiden baugleichen Prüfmuster [...] konnte nicht festgestellt werden."

Fazit zu Absperrarmaturen

Die DVGW-Forschungsergebnisse zeigen, dass eine Wasserstofftauglichkeit der Werkstoffe und der Dichtheit zu erwarten sind. Im Hinblick auf den Druckbereich kleiner gleich 5 bar sind daher keine weiteren Betrachtungen notwendig. Lediglich eine Gasrohrnetzüberprüfung vor und nach der Umstellung auf Wasserstoff ist durchzuführen, um mögliche Undichtheiten frühzeitig zu identifizieren und zu beseitigen. (s. Kapitel 2.3).

2.3 Einzuleitende betriebliche Maßnahmen

In Abhängigkeit von dem Dokumentationsumfang und dem Kenntnisstand zum Verteilnetz sind die betrieblichen Maßnahmen, welche in Abbildung 2.1 beschrieben sind, einzuleiten.

Es ist dabei stets die aktuelle Rohrnetzüberprüfung auszuwerten, insofern diese nicht mehr als zwei Jahre zurückliegt. Ansonsten ist diese nachzuholen. Ebenfalls muss innerhalb von vier Wochen nach der Umstellung eine erneute Rohrnetzüberprüfung nach G 465-1 durchgeführt werden.

Auch die Bestandsdatenanalyse ist in jedem Fall durchzuführen und beinhaltet den Abgleich, ob im umzustellenden Netz Komponenten verbaut sind, die z.B. bei Rohrnetzüberprüfungen, Hausanschlusskontrollen und Instandhaltungsrückläufen auffällig geworden sind. Zudem wird empfohlen, vor einer Umstellung die betreffenden Gas-Netzanschlüsse gemäß G 459-1 zu kontrollieren und zu bewerten.

Eine Überprüfung der Linienobjekte nach G 465-1 mit anschließender Auswertung ist sechs Monate vor der Umstellung vorzunehmen, insofern die Dokumentation nicht vollständig vorliegt. Parallel dazu sollte eine Stoßodorierung durchgeführt werden, wenn lediglich Kenntnisse zum Rohrmaterial bzw. zu den Hauseinführungskombinationen vorliegen.

Leitungen, Bauteile und Komponenten eines Gasverteilnetzes	Einzuleitende Betriebliche Maßnahmen zur Umstellung eines Gasverteilnetzes ≤ 5 bar ⁴⁾					
	Auswertung der Linienobjektüberprüfung gemäß G 465-1 der letzten zwei Jahre (mindestens die letzte Überprüfung)	Überprüfung des Linienobjektes gemäß G 465-1 mit anschließender Komponenten-/ Bauteil-Auswertung vor der Umstellung ²⁾	Parallel zur Linienobjektüberprüfung soll eine Stoßordnung durchgeführt werden	Überprüfung des Linienobjektes gemäß G 465-1 mit anschließender Komponenten-/ Bauteil-Auswertung nach der Umstellung aufgrund von Auffälligkeiten	Überprüfung des Linienobjektes gemäß G 465-1 mit anschließender Komponenten-/ Bauteil-Auswertung nach der Umstellung	
Angaben zu Material: Betriebsdruck: Überprüfungszyklen: (gemäß G 465-1)						
	bar					
Komplette Netzdokumentation vorhanden und Wasserstofftauglichkeit gegeben, eine positive Betriebsdatenanalyse liegt vor.	X			X	Routinemäßige Überprüfung gemäß G 465-1	
Eingebautes Rohmaterial ²⁾ , HEK ³⁾ , Anbohr-T-Stück ³⁾ und Absperrrichtungen ³⁾ sind bekannt und wasserstofftauglich, eine positive Betriebsdatenanalyse liegt vor.	X	X		X	Routinemäßige Überprüfung gemäß G 465-1	
Eingebautes Rohmaterial ²⁾ , HEK ³⁾ und Anbohr-T-Stück ³⁾ sind bekannt und wasserstofftauglich, positive Betriebsdatenanalyse liegt vor.	X	X		X	X	
Eingebautes Rohmaterial ²⁾ und HEK ³⁾ sind bekannt und wasserstofftauglich, eine positive Betriebsdatenanalyse liegt vor.	X	X	X	X	Routinemäßige Überprüfung gemäß G 465-1	
Eingebautes Rohmaterial ²⁾ ist bekannt und wasserstofftauglich, eine positive Betriebsdatenanalyse liegt vor.	X	X	X	X	X	

- 1) Leckstellenrate in Schädern/(km²a), des umzustellenden Leitungsabschnittes liegt im langjährigen Mittel des gesamten Gasnetzes des Netzbetreibers (materialspezifisch auflösen).
- 2) Wasserstofftauglichkeit: gültig für die Rohmaterialien Stahl, PE, PVC und Duktiguss.
- 3) Allgemeingültige stichpunktartige, objektbezogene Analysen der vorhandenen Betriebsdaten der letzten fünf Jahre zeigen grundsätzlich keine Auffälligkeiten.
- 4) Bei Wechsel der Explosionsgruppe Gas von II A auf II B, II B auf II C bzw. von II A auf II C ist eine Überprüfung der innenliegenden Teile des Netzanschlusses durchzuführen.

Abbildung 2.1: Einzuleitende betriebliche Maßnahmen zur Umstellung eines Gasverteilnetzes ≤ 5 bar

3 Auslegungsdruck > 5 bar bis 16 bar

Im nachfolgenden Kapitel werden die notwendige Dokumentation, die Wasserstofftauglichkeit sowie die einzuleitenden betrieblichen Maßnahmen im Hinblick auf die Umstellung von Verteilnetzen mit Drücken zwischen größer 5 bar und kleiner gleich 16 bar beschrieben.

Es wird eingangs darauf hingewiesen, dass nach derzeitigem Stand (10.12.2025) bei einer Umstellung auf Wasserstoff eine gutachterliche Äußerung durch einen Sachverständigen gemäß §113c des Gesetzes über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz – EnWG) erforderlich ist [6]. Daher werden nachstehend die notwendigen Abstimmungen mit einem Sachverständigen mit aufgeführt. Dies kann sich unter Umständen mit der Novellierung des EnWG für die Druckstufe größer 5 bar bis einschließlich 16 bar ändern [7]. Damit würden die Bestrebungen des DVGW zur Vereinfachung des Prozesses (Wegfall der gutachterlichen Äußerung eines Sachverständigen sowie keine Anzeigepflicht bei der Behörde) berücksichtigt werden. Eine Abschlussbescheinigung durch einen Sachverständigen ist dennoch erforderlich.

3.1 Notwendige Dokumentation

Die zu den Beschreibungen dazugehörigen Prozessablaufdiagramme können den Anhängen 5 bis 8 entnommen werden.

3.1.1 Errichtung

Für die Netzdokumentation sind von Versorgungsunternehmen die im Arbeitsblatt GW 120 [8] aufgeführten Mindestanforderungen und Standards zu beachten. Zur Sicherung der Qualität sind die erfassten Netzdaten vollständig und aktuell zu halten.

Folgende Unterlagen müssen auf Vorhandensein geprüft werden. Liegen diese vor, sind die beschriebenen Vorgehensweisen zu wählen, ansonsten müssen zusätzliche betriebliche Maßnahmen eingeleitet werden (s. Kapitel 3.3). Weiterhin kann bei fehlenden Unterlagen, wie z.B. der Abnahmebescheinigung eine Ersatzdokumentation nach G 453 (A) [10] aufgebaut werden.

Sachverständigenbescheinigung

Die nach G 462 (A) [11] erforderliche Sachverständigenbescheinigung ist mit einem Sachverständigen zu bewerten. Die notwendige abschließende Bescheinigung ist abhängig vom Baujahr (ab 1967 Bescheinigung über den Erfolg des Druckversuchs, ab 1967 Abnahmebescheinigung nach G 462 (A)). Es ist eine Bestätigung vorzuweisen, dass die Unterlagen zum Zeitpunkt der Errichtung vollständig vorlagen.

Unterlagen Druckprüfungen

Die Unterlagen der Druckprüfung nach G 469 (A) [12] sind mit einem Sachverständigen zu bewerten. Eine erneute Druckprüfung gem. G 469 (A) [12] ist nur nötig, falls die erstmalige Druckprüfung nicht mehr aussagekräftig ist oder die Ergebnisse der Gasrohrnetzüberprüfung nicht vorliegen.

Trassen- und Bestandspläne, Rohrbuch, Stückliste

Die Inventarisierungslisten sind mit den Informationen aus den vollständigen Trassen- und Bestandsplänen sowie der Stückliste und ggf. dem Rohrbuch zu befüllen. Zu berücksichtigen sind auch Dokumente von Umlegungen, Reparaturen und Einbauteilen sowie geplante Austauschmaßnahmen. Siehe auch Kapitel 3.1.3 Inventarisierung.

Bei Drücken größer 5 bar ist das Führen eines Rohrbuchs notwendig. Dabei kann sich an G 462 (A) [11] orientiert werden.

Abnahmeprüfzeugnisse

Die Informationen aus den Abnahmeprüfzeugnissen nach DIN EN 10204 [13] für Rohre, Formteile und Komponenten aus Stahl sind ebenfalls in die Inventarisierungsliste einzupflegen.

Schweiß-Dokumentation

Die Schweißnahtdokumentation ist mit einem Sachverständigen zu bewerten. Diese hat u.a. zerstörungsfreie Prüfungen, die Schweißnahtdokumentation und Testnähte zu umfassen. Weitere Anforderungen sind dem Merkblatt G 350 (A) [31] zu entnehmen.

Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)

Bei Planung und Einrichtung von KKS-Systemen ist gemäß GW 10 (A) [32] eine schriftliche Fertigmeldung an den Anlagenbetreiber durch einen Sachkundigen nötig. Darin muss mindestens die vollständige Dokumentation des installierten Korrosionsschutzsystems enthalten sein. Teil davon ist auch der Nachweis über die Überprüfung der baulichen Voraussetzungen für den KKS, die von einem Korrosionsschutz-Sachverständigen zu prüfen und zu bescheinigen sind. Bei nachträglichen Änderungen an der KKS-Anlage ist entsprechend der ursprünglichen Planung zu verfahren und die Dokumentation über die Änderungsplanung der ursprünglichen Planung beizufügen. Die Bestandsdokumentation, die in GW 10 (A) [32] in Kapitel 8.3 definiert wird und Teil der Dokumentation über Planung und Einrichtung ist, ist über die gesamte Betriebsdauer der KKS-Anlage vorzuhalten.

3.1.2 Betrieb

Folgende Unterlagen müssen auf Vorhandensein geprüft werden⁴. Liegen diese vor, sind die beschriebenen Vorgehensweisen zu wählen, ansonsten müssen zusätzliche betriebliche Maßnahmen eingeleitet werden (s. Kapitel 3.3).

Schadensstatistik

Es ist wie bei Auslegungsdrücken kleiner gleich 5 bar entsprechend Kapitel 2.1.2 vorzugehen.

Umgebung & äußere Einflüsse

Es ist wie bei Auslegungsdrücken kleiner gleich 5 bar entsprechend Kapitel 2.1.2 vorzugehen.

Dichtheitsnachweis

Es ist wie bei Auslegungsdrücken kleiner gleich 5 bar entsprechend Kapitel 2.1.2 vorzugehen.

⁴ Die bisher transportierten Medien sowie der Zustand der Umhüllung können zusätzlich zur Bewertung herangezogen werden.

Nachweis Kathodischer Korrosionsschutz (KKS)

Der Nachweis über das Vorhandensein des KKS ist mit einem Sachverständigen zu bewerten. Dabei ist auf eine vollständige Dokumentation der Inbetriebnahme, des Betriebs und der Instandhaltung gem. Arbeitsblatt GW 10 [32] zu achten. Die Dokumentation der Inbetriebnahme ist für mindestens fünf Jahre vorzuhalten, die der Nachmessungen über die gesamte Betriebsdauer. Falls Nachweise über die Wirksamkeit des KKS, z.B. durch Intensivmessung vorhanden sind, sind diese zur Bewertung hinzuzuziehen.

Wartung & Inspektion

Es ist wie bei Auslegungsdrücken kleiner gleich 5 bar entsprechend Kapitel 2.1.2 vorzugehen.

3.1.3 Inventarisierung

Wie bereits in Kapitel 2.1.1 erwähnt, empfiehlt es sich eine möglichst vollständig befüllte Inventarisierungsliste vorliegen zu haben. Für die Befüllung können folgende Informationen mitgeführt werden:

- Komponente

Je nach Komponentenart sind weiterführende Informationen notwendig. Handelt es sich um Rohrleitungen, Fittings oder Armaturen, so ist der Werkstoff anzugeben. Insofern die Dimension von Stahl-Rohrleitungen und Stahl-Fittings größer DN200, der Betriebsdruck größer 12 bar und eine hohe Anzahl an Vollastwechseln (größer 18.000) zu erwarten ist, ist entsprechend der G 407 (M) [33] der Quotient aus der tatsächlichen Wanddicke und der Mindestwanddicke zu errechnen, um die Notwendigkeit einer bruchmechanischen Bewertung beurteilen zu können. Hierfür ist auch die Mindeststreckgrenze mitzuführen. Ist der berechnete Quotientenwert kleiner gleich eins, wird die Rohrleitung wie eine Stahl-Rohrleitung größer 16 bar nach der G 409 (M) [34] bewertet und es muss gemäß G 464 [25] eine bruchmechanische Bewertung vorgenommen werden. Hierbei kann auch sinngemäß die G 463 (A) [35] hinzugezogen werden. Neben der Wanddicke sind die Fertigungsart und die Verbindungstechnik der Stahl-Rohrleitung oder des Stahl-Fittings zu vermerken und zu belegen, um diese durch einen Sachverständigen beurteilen zu lassen.

- Hersteller & Produktreihe

Die Hersteller- und Produktangaben sind so vollständig wie möglich aufzuführen. Anhand von Herstellerangaben zur Wasserstofftauglichkeit der Produkte können Bestandskomponenten anschließend zielgerichtet zugeordnet werden, z.B. mit der DVGW-Datenbank verifHy.

- Baujahr

Das Baujahr kann ausschlaggebend sein für den Zustand der Komponente. Hieraus kann auch der generelle Austauschbedarf von Komponenten aufgrund des Alters abgeleitet und ggf. Kosten gespart werden. Für die Gültigkeit von Herstellererklärungen zur Wasserstofftauglichkeit kann das Baujahr zudem einen beschränkenden Einfluss haben.

- Anzahl/ Länge
- Auslegungs-/ Betriebsdruck
- Nennweite/ Durchmesser
- Verlinkung der Dokumentation

3.1.4 Ersatzmaßnahmen

Neben möglichen betrieblichen Maßnahmen, können im Druckbereich größer 5 bar Ersatzmaßnahmen nach G 453 [10] vorgenommen werden, wenn die Abnahmedokumentation nicht vorliegt. Dies ist der Fall, wenn ein oder mehrere der folgenden, mindestens erforderlichen Dokumente nicht vorliegen:

- **Abschließende Bescheinigung für die Leitungserrichtung**
- **Abnahmebescheinigung**

Für Anlagen mit Baujahr vor 1975 ist eine Bescheinigung nach DIN 2470 notwendig bzw. die Schlussbescheinigung nach DIN 2470 Teil 2. Bei Errichtung vor dem 03. Oktober 1990 sind die Bescheinigungen, Abnahmeprüfzeugnisse und Protokolle nach der damals gültigen TGL vorzuweisen.

- **Bescheinigung des Sachverständigen über die Druckabsicherung**

Hierbei ist die „Druckabsicherungsbescheinigung“ entsprechend dem DVGW-Rundschreiben G 01/13 vorzuweisen bzw. die analoge Bescheinigung für Leitungen bis 16 bar („Prüfung und Einstellung von Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung“). Bei Nichtvorliegen ist die Bescheinigung ersatzweise zu erstellen.

- **Bescheinigung Nachweis KKS**

Es ist die erstmalige Bescheinigung über den Nachweis und die Überprüfung der Wirksamkeit des KKS nach GW 10 [32] zusammen mit GW 10-B1 (A) (kann in der Schlussbescheinigung enthalten sein) vorzuweisen. Bei Nichtvorliegen ist eine Ersatzbescheinigung nach GW 10-B1 (A) zu erstellen.

Nach G 453 (A) [10] ist eine Ersatzdokumentation notwendig, wenn die Schlussbescheinigung, die Abnahmebescheinigung bzw. die Bescheinigung über den Erfolg des Druckversuchs oder der Druckprüfung nicht vorliegt. Als Ersatz sind die Dokumentation der Druckprüfung und der zerstörungsfreien Prüfung sowie die Abnahmeprüfzeugnisse für die Rohre und Bauteile zu verwenden. Falls diese ebenfalls nicht vorliegen, ist wie folgt vorzugehen:

- **Fehlende Druckprüfungsbescheinigung und/ oder fehlende Einbindungsdokumentation**

Betriebliche Dichtheitskontrolle nach G 466-1 [36] und Dokumentation ihrer ordnungsgemäßen Durchführung.

- **Fehlende Protokolle der zerstörungsfreien Prüfung**

Stichprobenhaft Nachprüfungen bei betrieblichen Freilegungen und deren Dokumentation. Dabei gelten die Prüfkriterien vom Zeitpunkt der Errichtung. Es wird so eine kontinuierliche Ergänzung der Dokumentation über die betrieblichen Maßnahmen generiert. Alternativ ist ein Integritätsnachweis der Schweißverbindungen möglich.

- **Fehlende Abnahmeprüfzeugnisse zu Rohren und Bauteilen**

Da in diesem Fall die Werkstoffangaben fehlen können im Rahmen anderer betrieblicher Maßnahmen stichprobenhaft Werkstoffe und Wanddicken bestimmt werden. Die Dokumentation hierüber kann als Ersatz für die fehlenden APZ dienen. Es wird so eine kontinuierliche Ergänzung der Dokumentation über die betrieblichen Maßnahmen generiert. Dies ist jedoch erst ab einem MOP von größer 12 bar sinnvoll.

In G 453 (A) [10] werden in Tabelle 3 die zu ergreifenden Ersatzmaßnahmen bei fehlenden notwendigen Dokumenten zusammengefasst.

3.2 Beschreibung der Wasserstofftauglichkeit

Die Prozessablaufdiagramme für die Rohrleitungen können dem Anhang 11 und für die Armaturen dem Anhang 12 entnommen werden. Zudem werden in Kapitel 4 die wesentlichen bisher umgesetzten bzw. vorbereiteten Umstellprojekte vorgestellt, deren Ergebnisse diese Aussagen unterstützen.

Für weitere Komponenten und auch die produktspezifische Bewertung kann zudem die DVGW-Datenbank verifHy verwendet werden.

3.2.1.1 Stahl-Rohrleitungen

Für Stahl-Rohrleitungen zwischen 5 und 12 bar kann eine Wasserstofftauglichkeit aufgrund der Erkenntnisse aus dem DVGW-Projekt „Begrenzung des Anwendungsbereiches für bruchmechanische Bewertung von Gasleitungen nach DVGW G464 (BAG 464)“ [15] angenommen werden. In diesem wurden bruchmechanische Berechnungen für Stahl-Rohrleitungen bei unterschiedlichen Drücken und Durchmessern durchgeführt. Bis zu einem Betriebsdruck von 12 bar ergaben sich hohe Lastwechselzahlen, so dass keine bruchmechanische Bewertung erforderlich ist. Dies gilt auch für Stahl-Rohrleitungen mit Betriebsdrücken bis 16 bar, insoweit die Dimensionierung kleiner gleich DN 200 ist. Für größere Durchmesser sind Einzelfallbetrachtungen gemäß des DVGW-Merkblattes G 464 [25] durchzuführen. Eine prinzipielle Wasserstofftauglichkeit ist jedoch laut DVGW-Projekt „Stichprobenhafte Überprüfung von Stahlwerkstoffen für Gasleitungen und Anlagen zur Bewertung auf Wasserstofftauglichkeit (SyWeSt H₂)“ [26] zu erwarten, da im Gasverteilnetz nicht mehr als 18.000 Vollastwechsel (niedrigste Anzahl berechneter Vollastwechsel gemäß [15]) zu erwarten sind.

3.2.1.2 Kunststoff-Rohrleitungen

Die Wasserstofftauglichkeit von Kunststoff-Rohrleitungen gilt unabhängig vom Betriebsdruck. Daher sei auf das Kapitel 2.2.1.2 verwiesen.

3.2.1.3 Duktile Guss-Rohrleitungen

Duktile Guss-Rohrleitungen werden üblicherweise nicht mit Betriebsdrücken größer 5 bar betrieben. Daher werden diese nicht weiter betrachtet.

3.2.1.4 Absperrarmaturen

Im DVGW-Merkblatt G 405 sind nachfolgende notwendige Prüfungen von Bestandsarmaturen aufgeführt:

- Unterlagen über Errichtung, Betrieb und Instandhaltung
- Prüfung der Werkstoffe auf Wasserstofftauglichkeit
- Bruchmechanische Bewertung
- Zustandsprüfung

Unterlagen über Errichtung, Betrieb und Instandhaltung

Als notwendige Unterlagen werden Werks- bzw. Abnahmeprüfzeugnis nach DIN EN 10204 und die Druckprüfbescheinigungen gefordert. Bei Vollständigkeit und zur Errichtung ausreichendem Prüfdruck kann auf Ersatzmaßnahmen verzichtet werden.

Die Unterlagen über den Betrieb und Instandhaltung, wie z.B. Schadensstatistik, Rohrnetzbegehung, Zustandseinschätzung oder Gängigkeit von Armaturen, sind auf Auffälligkeiten auszuwerten.

Prüfung der Werkstoffe auf Wasserstofftauglichkeit

Hinsichtlich der Werkstoffe verweist das DVGW-Merkblatt G 405 auf die in Kapitel 2.2.1.4 genannten DVGW-Forschungsprojekte, deren positive Ergebnisse eine Tauglichkeit der Werkstoffe erwarten lassen. Zudem wird bei der zulässigen Werkstoffauswahl auf die DIN 30690-1 verwiesen, die Werkstoffe ohne ausgeprägte Streckgrenze für die Verwendung ausschließt.

Bruchmechanische Bewertung

Eine bruchmechanische Bewertung der Armatur ist laut DVGW-Merkblatt G 405 nicht erforderlich, wenn

- die an der bruchmechanisch zu bewertenden Rohrleitung zugrundeliegende Risstiefe $a_0 \geq 10\%$ der Wanddicke beträgt oder
- der Auslegungsdruck (DP) der Bestandsarmatur mindestens 30 % höher ist als der Auslegungsdruck (DP) der anschließenden Rohrleitung oder
- der Nutzungsgrad (f), der an der Bestandsarmatur zu bewertenden Rohrleitung $> 0,588$ (Sicherheitsfaktor $< 1,7$) und die Festigkeitsklasse der Stahlsorte der zu bewertenden Rohrleitung größer als die des Gehäusewerkstoffes der Bestandsarmatur ist.

Eine pauschale Aussage kann lediglich für den ersten Anstrich abgeleitet werden. Gemäß dem DVGW-Forschungsprojekt „BAG 464“ ist keine bruchmechanische Berechnung für Stahl-Rohrleitungen, unabhängig vom Durchmesser und Werkstoff, bis zu einem Betriebsdruck von

12 bar erforderlich [15]. Bis zu einem Betriebsdruck von 16 bar und einem Durchmesser kleiner gleich DN200 gilt dies ebenso, anderenfalls ist eine bruchmechanische Bewertung vorzunehmen.

Zustandsprüfung

Vor einer Umstellung sind die Armaturen auf äußere Dichtheit und Gängigkeit zu prüfen. Sogenannte „Block-and-Bleed“-Kugelhähne sind zudem auf innere Dichtheit zu prüfen. In Abstimmung mit den Sachverständigen wird jedoch eine innere Dichtheitsprüfung bei allen Absperrarmaturen empfohlen, insofern diese praktikabel ist. Aus den vergangenen Prüfungen nach DVGW-Arbeitsblatt G 441 sind die Ergebnisse in die Bewertung mit einzubeziehen. Eine abschließende Bewertung der Armaturen kann dementsprechend erst kurz vor der geplanten Umstellung erfolgen.

3.3 Einzuleitende betriebliche Maßnahmen

In Abhängigkeit von dem Dokumentationsumfang und dem Kenntnisstand zum Verteilnetz sind die betrieblichen Maßnahmen, welche in Abbildung 3.1 beschrieben sind, einzuleiten.

Es ist dabei stets die aktuelle Rohrnetzüberprüfung auszuwerten, insofern diese nicht mehr als zwei Jahre zurückliegt. Ansonsten ist diese nachzuholen. Ebenfalls muss innerhalb von vier Wochen nach der Umstellung eine erneute Rohrnetzüberprüfung nach G 465-1 durchgeführt werden.

Auch die Bestandsdatenanalyse ist in jedem Fall durchzuführen und beinhaltet den Abgleich, ob im umzustellenden Netz Komponenten verbaut sind, die z.B. bei Rohrnetzüberprüfungen und Instandhaltungsrückläufen auffällig geworden sind.

Eine Überprüfung der Linienobjekte nach G 465-1 mit anschließender Auswertung ist sechs Monate vor der Umstellung vorzunehmen, insofern die Dokumentation nicht vollständig vorliegt. Parallel dazu sollte eine Stoßodorierung durchgeführt werden, wenn lediglich Kenntnisse zum Rohrmaterial und nicht zu den Absperrrichtungen vorliegen.

Leitungen, Bauteile und Komponenten eines Gasverteilnetzes	Einzuleitende Betriebliche Maßnahmen zur Umstellung eines Gasverteilnetzes > 5 bar bis 16 bar ⁶⁾					
	Auswertung der Linienobjektüberprüfung gemäß G 465-1 der letzten zwei Jahre (mindestens die letzte Überprüfung)	Überprüfung des Linienobjektes gemäß G 465-1 mit anschließender Komponenten-/ Bauteil-Auswertung vor der Umstellung ⁴⁾	Parallel zur Linienobjektüberprüfung soll eine Stoßodorierung ⁵⁾ durchgeführt werden	Überprüfung des Linienobjektes gemäß G 465-1 mit anschließender Komponenten-/ Bauteil-Auswertung nach der Umstellung aufgrund von Auffälligkeiten	Überprüfung des Linienobjektes gemäß G 465-1 mit anschließender Komponenten-/ Bauteil-Auswertung nach der Umstellung	
Angaben zu Material: Betriebsdruck: Überprüfungszyklen: (gemäß G 465-1)	bar					
Komplette Netzdokumentation vorhanden und Wasserstofftauglichkeit gegeben, eine positive Betriebsdatenanalyse liegt vor.	x			x	Routinemäßige Überprüfung gemäß G 465-1	
Eingebautes Rohmaterial ^{2,3)} und Absperrrichtungen ⁹⁾ sind bekannt und wasserstofftauglich, eine positive Betriebsdatenanalyse liegt vor.	x	x		x	Routinemäßige Überprüfung gemäß G 465-1	
Eingebautes Rohmaterial ^{2,3)} ist bekannt und wasserstofftauglich, eine positive Betriebsdatenanalyse liegt vor.	x	x	x	x	x	
Dokumentation einschließlich Betriebsdaten sind beim Gasverteilnetzbetreiber < 16 bar nicht vorhanden	Eine derartige Netzumstellung ist im Detail als Einzelereignis durch den Netzbetreiber zu analysieren und zu bewerten, die Umstellschritte, wie z.B. eine schrittweise Anhebung der Wasserstoffkonzentration im Netz, sind festzulegen und mit betrieblichen Netzmaßnahmen zu kombinieren.					

- 1) Leckstellenrate in Schaden/(km*a) des umzustellenden Leitungsabschnittes liegt im langjährigen Mittel des gesamten Gasnetzes des Netzbetreibers (materialspezifisch auflosen).
- 2) Wasserstofftauglichkeit: gültig für die Rohmaterialien Stahl und PE.
- 3) Spezifische Angaben zum Rohmaterial, insbesondere zu Stahl, sind in 3.1.3 und 3.2.1. beschrieben.
- 4) Allgemeine stichpunktartige, objektbezogene Analysen der vorhandenen Betriebsdaten der letzten fünf Jahre zeigen grundsätzlich keine Auffälligkeiten.
- 5) Stoßodorierung ist durchzuführen, falls netztechnisch möglich.
- 6) Bei Gasen der 5. Gasfamilie sind gemäß Energiewirtschaftsgesetz Sachverständige heranzuziehen.

Abbildung 3.1: Einzuleitende Betriebliche Maßnahmen zur Umstellung eines Gasverteilnetzes > 5 bar bis 16 bar

4 Erfahrungen aus Umstellprojekten

In der Vergangenheit gab es bereits verschiedene Projekte, bei denen Gasnetze bzw. Netzabschnitte mit Wasserstoff betrieben wurden. In den Tabellen 1 bis 9 sind einige Beispiele steckbriefartig aufgeführt, wobei sich an den Informationen aus [37] orientiert wurde. Es werden auch die Vorgehensweisen dargestellt, die im Rahmen der Projekte angewendet wurden. Zudem sind die ggf. notwendigen Anpassungen am Netz oder im Betrieb aufgeführt.

Es handelt sich um Projekte für Wasserstoffbeimischungen von 9 bis 30 Vol.-% Wasserstoff in Erdgas sowie für eine Umstellung auf Wasserstoff. Die Gemeinsamkeit besteht darin, dass bei keinem der Projekte Auffälligkeiten im Betrieb aufgetreten sind und folglich positive Erfahrungen mit Wasserstoff erzielt werden konnten.

In den Tabellen 10 bis 12 sind die Ergebnisse der Vorbetrachtungen von möglichen, zukünftigen Umstellprojekten aufgelistet. In diesen Projekten wurden bereits Sachverständige frühzeitig mit eingebunden, so dass der erste wichtige Schritt, die Bewertung der Wasserstofftauglichkeit, als abgeschlossen angesehen werden kann. Auch hier zeigten sich keine wesentlichen notwendigen Anpassungen.

Tabelle 1: Übersicht H2Direkt

H2Direkt			
Projekt-Laufzeit:	Ab 09/2023	H ₂ -Konzentration:	100 Vol.-%
Baujahr Netz:	2017	Netzlänge:	1,2 km
Betriebsdruck [bar]:	0,25 – 16	Material:	PE: 100%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Direkt vor Umstellung Gasrohrnetzüberprüfung gem. G 221 → Dichtigkeit bestätigt • Bei Umstellung Netz gasfrei gespült • Druckprüfung mit Luft • Mit Stickstoff inertisiert, danach mit H₂ beaufschlagt • Erneute Gasrohrnetzüberprüfung • Prozess durch SV begleitet • Umsetzung durch Vertragspartner RL-Bau (zertifiziert nach GW 301) • Herstellererklärung für 100% H₂ für jedes Bauteil eingeholt • HS-Test und OIT-Messung von Rohrprobe nach G 408 • Bescheinigung von akkreditiertem Labor → kein Austausch von Bauteilen nötig 		
Anpassungen:	<ul style="list-style-type: none"> • THT als Odoriermittel • Austausch von Zählern von G4 auf G6 • Schulung und Unterweisung der Mitarbeiter, auch anhand der Gefährdungsbeurteilungen und Betriebsanweisungen 		

Tabelle 2: Übersicht H2HoWi

H2HoWi			
Projekt-Laufzeit:	Ab 10/2022	H ₂ -Konzentration:	100 Vol.-%
Baujahr Netz:	2022	Netzlänge:	0,53 km
Betriebsdruck [bar]:	0,3 – 3	Material:	PE: 95,2% Stahl: 3,8% PA: 1,0%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • vorhandene Mitteldruck-Erdgasleitung vom Verteilnetz getrennt, Anschluss an einen Wasserstoffspeicher • Begleitung durch SV • Permeationsmessungen • Nachweis Eignung der Verbinder • Druckprüfung der Leitungen 		
Anpassungen:	<ul style="list-style-type: none"> • THT als Odoriermittel • Regelmäßige Schulungen Betriebspersonal • Erhöhter Zeitaufwand für Inertisierungsschritte bei Wartung • Berücksichtigung neuer Messgeräte 		

Tabelle 3: Übersicht H₂-MiX

H₂-MiX			
Projekt-Laufzeit:	10/2022 – 12/2023	H ₂ -Konzentration:	20 Vol.-%
Baujahr Netz:	2007 – 2016	Netzlänge:	9,5 km
Betriebsdruck [bar]:	0,4	Material:	PE: 100%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • stufenweise Erhöhung 10, 15, 20 Vol.-% • Gasrohrnetzüberprüfung vor erster Beimischung und nach jeder Erhöhung • Druckprüfung vor Start aufgrund vorangegangener betriebstechnische Analyse nicht nötig (Abstimmung SV) 		
Anpassungen:	<ul style="list-style-type: none"> • kein Austausch von Komponenten nötig 		

Tabelle 4: Übersicht Wasserstoffinsel Öhringen

Wasserstoff-Insel Öhringen			
Projekt-Laufzeit:	11/2021 – 03/2024	H ₂ -Konzentration:	30 Vol.-%
Baujahr Netz:	ab 1989	Netzlänge:	1,1 km
Betriebsdruck [bar]:	0,07 und 0,7	Material:	PE: 99,6% Stahl: 0,4%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Begrenztes Gebiet von bestehendem Gasnetz getrennt, eigenständig versorgt mittels Elektrolyseur • Phase 1 Mischgas-Versorgung ab 11/2021 eigene Liegenschaft der Netze BW (0,7 bar) • Phase 2: Mischgas-Versorgung ab Sommer 2023 mit zusätzlichen 26 Haushalten (0,07 bar) 		
Anpassungen:	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Anpassung des Gasnetzes notwendig 		

Tabelle 5: Übersicht H2-20

H2-20			
Projekt-Laufzeit:	10/2021 – 04/2023	H ₂ -Konzentration:	20 Vol.-%
Baujahr Netz:	1994/1995	Netzlänge:	45 km
Betriebsdruck [bar]:	1	Material:	PE: 97,8% Stahl: 2,2%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Kundenseitige Überprüfung der Gasgeräte (Betriebs-/Sicherheitstechnik) • H₂-Prüfung aller Bauteile im Netzabschnitt mit Herstellern inkl. Inneninstallation bis zum Abgasstutzen • Stufenweise Umstellung 10, 15, 20% • Betrieb mit 20 Vol.-% über mehrere Wochen in zwei Heizperioden (2021/22, 2022/23) • Armaturen-Materialien mithilfe VNB H₂-Kompendium (heute verifHy) und umfangreicher Literatur bewertet, zudem Einstufung als technisch dicht → geeignet • Untersuchung an 5 Armaturen + Auswertung zusammen mit Herstellern → Beständigkeit bis 100% • Gasrohrnetzüberprüfungen 		
Anpassungen:	<ul style="list-style-type: none"> • Odoriermittel Spotleak 1005 • Olfaktorische Messungen an ausgewählten Punkten 		

Tabelle 6: Übersicht mySMARTlife

mySMARTlife			
Projekt-Laufzeit:	12/2016 – 09/2022	H ₂ -Konzentration:	30 Vol.-%
Baujahr Netz:	-	Netzlänge:	0,05 km
Betriebsdruck [bar]:	0,7	Material:	PE: 100%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Beimischung ins bestehende Gasnetz über H₂-Einspeiseanlage • Etwa 2-jährige Einspeisedauer 		
Anpassungen:	-		

Tabelle 7: Übersicht Wasserstoffprojekt Klanxbüll

Wasserstoffprojekt Klanxbüll			
Projekt-Laufzeit:	2012 – 04/2016	H ₂ -Konzentration:	9 Vol.-%
Baujahr Netz:	1997	Netzlänge:	18 km
Betriebsdruck [bar]:	0,5	Material:	PE: 100%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Routinemäßige Leitungsbegehung nach G 465-1 mit Messgerät nach G 465-4 → keine Auffälligkeiten, daher Eignung bis 10 % • Einspeisung von 9% H₂ aus Flaschenbatterie in GDR-Station • Kontinuierliche Überwachung H₂-Konzentration • Parallel brenntechnische Untersuchungen durch Gasinstitut 		
Anpassungen:	<ul style="list-style-type: none"> • Odoriermittel S-free • Keine Anpassung der brenntechnischen Geräte-Einstellungen • Kein Austausch von Komponenten 		

Tabelle 8: Übersicht Energiepark Mainz

Energiepark Mainz			
Projekt-Laufzeit:	Ab 2015	H ₂ -Konzentration:	
Baujahr Netz:	1979 – 2022	Netzlänge:	26,98 km
Betriebsdruck [bar]:	0,05 - 0,07/ 8	Material:	PE: 19% Stahl: 81%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • H₂ aus Elektrolyse als Mischgas • Eins von über 1.000 Gasgeräten musste ausgetauscht werden • Gasrohrnetzüberprüfungen gem. G 465-1 vor und nach Umstellung auf Mischgas 		
Anpassungen:	<ul style="list-style-type: none"> • Kein Austausch von Komponenten 		

Tabelle 9: Übersicht Wasserstoff-Wärmeinsel Linnich

Wasserstoff-Wärmeinsel Linnich			
Projekt-Laufzeit:	Ab 12/2022	H ₂ -Konzentration:	100 Vol.-%
Baujahr Netz:	1995	Netzlänge:	0,13 km
Betriebsdruck [bar]:	0,15 – 0,25	Material:	PE: 100%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Planungsphase: detailliertes Sicherheitskonzept erstellt inkl. Risikoanalysen und Gefährdungsbeurteilungen • Gasrohrnetzüberprüfung und Gebrauchsfähigkeitsprüfung der Inneninstallation unter Erdgasatmosphäre • Spülung und Inertisierung mit Stickstoff + erfolgreiche Wiederholung mit H₂ 		
Anpassungen:	-		

Tabelle 10: Übersicht H₂-SWITCH100 (Vorbetrachtungen)

H₂-SWITCH100: Erdverlegtes Rohrnetz			
Projekt-Laufzeit:	Ab 04/2023	H ₂ -Konzentration:	100 Vol.-%
Baujahr Netz:	1938 – 2013	Netzlänge:	0,6 km
Betriebsdruck [bar]:	0,06	Material:	Stahl: 50% PE: 50%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung Wasserstofftauglichkeit und entsprechende Maßnahmen in Bezug auf die erdverlegten Netzelemente • Empfehlungen von zu erprobenden Leitungen und Komponenten sowie Erarbeitung eines Prüfkonzepts • Ausbau und Dichtheitsuntersuchung von ausgewählten Verbindern, Kupplungen, Kugelhähnen sowie Hauseinführungskombinationen • Entnahme von drei Stahlrohr-Proben zur visuellen Bewertung, Durchstrahlungsprüfung und weiteren Analysen • Grundsätzliche Tauglichkeit der verbauten Werkstoffe und Komponenten für Wasserstoff festgestellt 		
Anpassungen:	<ul style="list-style-type: none"> • Kein Austausch von Komponenten • Zusätzliche Rohrnetzüberprüfung 		

Tabelle 11: Übersicht EAM-H₂ HDL (Vorbetrachtungen)

EAM-H₂ HDL			
Projekt-Laufzeit:	08/2024 – 06/2025	H ₂ -Konzentration:	100 Vol.-%
Baujahr Netz:	größtenteils 1992	Netzlänge:	25 km
Betriebsdruck [bar]:	10 – 16	Material:	Stahl: 50% PE: 50%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung Wasserstofftauglichkeit und entsprechende Maßnahmen in Bezug auf die erdverlegten Netzelemente • Trassenbefahrung und Dokumentation bzw. Bewertung der neuralgischen Punkte (z.B. Abstände zu Gebäuden) mit einem Sachverständigen durchgeführt • Grundsätzliche Tauglichkeit der verbauten Werkstoffe und Komponenten für Wasserstoff festgestellt 		
Anpassungen:	<ul style="list-style-type: none"> • Kein Austausch von Komponenten • Vor der Inbetriebnahme mit Wasserstoff muss eine KKS-Intensivmessung durchgeführt werden • Zusätzliche Rohrnetzüberprüfung und Auswertung der letzten Rohrnetzüberprüfungen 		

Tabelle 12: Übersicht H2Gersthofen (Vorbetrachtungen)

H2Gersthofen: Netz			
Projekt-Laufzeit:	Ab 07/2025	H ₂ -Konzentration:	100 Vol.-%
Baujahr Netz:	1992 – 2017	Netzlänge:	0,2 km
Betriebsdruck [bar]:	2,0	Material:	Stahl: 92% PE: 8%
Vorgehensweise:	<ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung Wasserstofftauglichkeit anhand der DVGW-Datenbank verifHy und entsprechende Maßnahmen in Bezug auf die erdverlegten Netzelemente • Grundsätzliche Tauglichkeit der verbauten Werkstoffe und Komponenten für Wasserstoff festgestellt 		
Anpassungen:	<ul style="list-style-type: none"> • Kein Austausch von Komponenten • Zusätzliche Rohrnetzüberprüfung und Auswertung der letzten Rohrnetzüberprüfungen • Begehung und Bewertung der Hausanschlüsse 		

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das technische Umstellhandbuch für Gasverteilnetze wurde erstellt, um den Netzbetreibern eine Handhabe bei der Bewertung der Wasserstofftauglichkeit und der technischen Umstellung ihrer Netze zu geben. Es wurden dabei ausschließlich Stahl-Rohrleitungen, Kunststoff-Rohrleitungen, Duktillguss-Rohrleitungen und Absperrarmaturen im Verteilnetz kleiner gleich 16 bar betrachtet. Dabei wurden die Druckstufen kleiner gleich und größer 5 bar aufgrund von abweichenden Anforderungen differenziert.

In dem technischen Umstellhandbuch wurde die Wasserstofftauglichkeit der Verteilnetze aufgezeigt. Weiterhin wurde auf die erforderlichen Dokumente aus der Errichtung und dem Betrieb hingewiesen. In Abhängigkeit von den vorliegenden Dokumenten wurden zudem einzuleitende betriebliche Maßnahmen beschrieben, die eine sichere Umstellung gewährleisten. Die Vorgehensweise der technischen Schritte wurde sowohl in Prozessablaufdiagrammen dargestellt als auch ausführlich ausformuliert.

Im Rahmen eines Workshops mit der Projektbegleitgruppe und den Netzbetreibern, die bereits Erfahrungen mit der Umstellung von Erdgasnetzen auf Wasserstoff gesammelt haben, wurden die Entwürfe vorgestellt und nach gemeinsamer Diskussion überarbeitet. Dabei konnte noch nicht abschließend geklärt werden, welche Zyklen nach der Umstellung auf Wasserstoff für die Rohrnetzüberprüfung und Schieberkontrollen zu empfehlen sind. Dies wird daher im DVGW-Regelwerk G 407 bzw. G 408 näher zu definieren sein, welches sich derzeit in der Zusammenführung und Überarbeitung befindet.

Weiterhin wurde im Workshop die zukünftige Rolle des Sachverständigen diskutiert. Zum Stand 10.12.2025 steht im § 113c Absatz 3 EnWG, dass eine gutachterliche Äußerung eines Sachverständigen bei einer Umstellung einer Leitung von Erdgas auf Wasserstoff einzuholen ist [6]. Zudem ist das Vorhaben bei der zuständigen Energieaufsichtsbehörden anzuzeigen, welche bisher jedoch nicht für Anlagen und Netz kleiner gleich 16 bar zuständig waren. Dies führt zu einer zusätzlichen Belastung der Behörden. Im Entwurf des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie zum Stand November 2025 wird daher angestrebt, den Absatz mit der nächsten Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes zu überarbeiten und das Verfahren zu vereinfachen [7].

Sowohl die Erfahrungen aus den bereits abgeschlossenen Umstellprojekten als auch die Vorbetrachtungen zu geplanten Vorhaben wurden tabellarisch zusammengefasst. In keinem der Projekte traten Auffälligkeiten im Betrieb auf. Auch bei den Vorbetrachtungen, die stets in enger Zusammenarbeit mit Sachverständigen begleitet wurden, ergaben sich keine wesentlichen notwendigen Anpassungen an den Verteilnetzen. Die Ausführungen zu den bisherigen Projekterfahrungen und Vorhaben untermauern die beschriebene Wasserstofftauglichkeit und Vorgehensweise des Umstellhandbuches.

Zukünftig ist es auch denkbar, weitere technische Umstellhandbücher für Stahl-Rohrleitungen inklusive der Absperrarmaturen mit einem Auslegungsdruck größer 16 bar, Gas-Druckregel- und -messanlagen, Inneninstallationen oder Endgeräte zu erstellen.

6 Literatur

- [1] J. Rommelfanger, *PORTAL GREEN II: Leitfäden für den Bau, den Betrieb und die Genehmigung von Wasserstoff-Netzinfrastrukturen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-portal-green-ii/portal-green-ii#c77242> (Zugriff am: 8. Oktober 2025).
- [2] J. Hüttenrauch *et al.*, "H2-Umstellmanagement für Gasverteilnetze (H2Umstell): DVGW-Projekt G 202312", Aug. 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g202312-h2umstell-abschlussbericht.pdf>. Zugriff am: 8. Oktober 2025.
- [3] F. Brandes und A. Schwigon, *H2-Betrieb: Betriebliche- und Sicherheitsaspekte bei 100 %-H₂-umgestellten Gasnetzen < 16 bar (G 202413)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-h2-betrieb> (Zugriff am: 8. Oktober 2025).
- [4] Prof. Dr.-Ing. Jens Mischner, "Zur Frage der Strömungsgeschwindigkeiten in Gasleitungen", *gwf Gas + Energie*, Nr. 05, S. 44–63, 2021.
- [5] S. Gehrman, *HySpeed: Zulässige Strömungsgeschwindigkeiten von Wasserstoff in Gasdruckregelanlagen (DVGW-Innovationsprogramm Wasserstoff - G 202330)*. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-hyspeed> (Zugriff am: 8. Oktober 2025).
- [6] *Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG): EnWG, 2025*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/EnWG.pdf
- [7] *Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes und weiterer energierechtlicher Vorschriften zur Umsetzung des Europäischen Gas- und Wasserstoff-Binnenmarktpakets: EnWG-E 2025, 2025*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/Gesetz/20251104-entwurf-eines-gesetzes-zur-aenderung-des-energiewirtschaftsgesetzes-und-weiterer-vorschriften.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- [8] *Netzdokumentation in Versorgungsunternehmen*, DVGW GW 120, DVGW - Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, Dez. 2021.
- [9] *Überprüfung von Gasrohrnetzen mit einem Betriebsdruck bis 16 bar*, Arbeitsblatt G 465-1 (A), Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW), Mai. 2019.
- [10] *Maßnahmen bei unvollständiger technischer Abnahmedokumentation von Gasleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck größer als 5 bar*, Arbeitsblatt G 453 (A), Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW), Nov. 2022.
- [11] *Gasleitungen aus Stahlrohren bis 16 bar Betriebsdruck: Errichtung*, DVGW G 462 (A), DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, Mrz. 2020.
- [12] *Druckprüfverfahren Gastransport/Gasverteilung*, DVGW G 469 (A), DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, Jul. 2019.
- [13] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., "Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfbescheinigungen; Deutsche Fassung EN 10204:2004", Berlin, 2004.
- [14] *Armaturen für maximal zulässige Betriebsdrücke bis 100 bar in der Gasversorgung; Anwendungsbeispiele, Betrieb und Instandhaltung*, Arbeitsblatt G 441, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW), Mrz. 2023.

- [15] M. Steiner und U. Marewski, "Begrenzung des Anwendungsbereiches für bruchmechanische Bewertung von Gasleitungen nach DVGW G464 (BAG 464)" DVGW-Förderkennzeichen G 202333, Okt. 2024.
- [16] *Umstellung von Gasleitungen aus Kunststoffrohren bis 16 bar Betriebsdruck für die Verteilung von wasserstoffhaltigen methanreichen Gasen und Wasserstoff*, Merkblatt G 408, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW), Aug. 2022.
- [17] Kunststoffrohrverband e.V., Hg., "KRV Stellungnahme zur Wasserstoffintegrität von Kunststoffrohren und Formteilen", 25. Juli 2022. [Online]. Verfügbar unter: https://www.krv.de/system/files/downloads/krv_stellungnahme_0.pdf. Zugriff am: 15. Mai 2025.
- [18] F. Nony *et al.*, "Report on the effect of H₂ on polymers: Effect on the ageing of PE discs", 2008.
- [19] Forschungszentrums Jülich, Hg., *Field Test of Hydrogen in the Natural Gas Grid*. Rio de Janeiro, 2010. [Online]. Verfügbar unter: <https://core.ac.uk/download/pdf/34994364.pdf>
- [20] R. Pischko und R. Huhn, *H₂INFRA: H₂-Infrastruktur | Effizienter und sicherer Betrieb von Wasserstoffverteilnetzen*. [Online]. Verfügbar unter: <https://ing-egu.htwk-leipzig.de/forschung/h2-infra/> (Zugriff am: 20. September 2024).
- [21] R. Hermkens, H. Colmer und H. A. Ophoff, "MODERN PE PIPE ENABLES THE TRANSPORT OF HYDROGEN" in *Proceedings of the 19th Plastic 2018*. [Online]. Verfügbar unter: https://www.kiwa.com/4aca1c/globalassets/netherlands/kiwa-technology/downloads/hermkens-et-al---pe-pipes-enable-the-transport-of-hydrogen_ppxix_2018-versie-20180710.pdf
- [22] N. S. Kahlon, "HyDeploy2 Project: Winlaton Trial Report", Sep. 2022.
- [23] D. Podszuweit, M. Steiner, C. Knorr, S. Lehmann, S. Lutz und T. Dornfeld, "Einsatz von Duktulgussystemen (Rohre, Verbinder, Dichtungen) bei Wasserstoff (DUWA): DVGW-Projekt G 202332", 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-h2-toleranz-von-duktilguss>.
- [24] HyDeploy, "HyDeploy2 Project: Project Close Down Report", Juni 2024. [Online]. Verfügbar unter: https://hydeploy.co.uk/app/uploads/2024/07/234971_CADENT_HY-DEPLOY_REPORT_JUN24_V5.pdf.
- [25] *Bruchmechanisches Bewertungskonzept für Gasleitungen aus Stahl mit einem Auslegungsdruck von mehr als 16 bar für den Transport von Wasserstoff*, Merkblatt G 464, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, Mrz. 2023.
- [26] M. Steiner, U. Marewski und H. Silcher, "DVGW-Projekt SyWeSt H₂: Stichprobenhafte Überprüfung von Stahlwerkstoffen für Gasleitungen und Anlagen zur Bewertung auf Wasserstofftauglichkeit" DVGW-Förderkennzeichen G 202006, Jan. 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g202006-sywesth2-staehle.pdf>. Zugriff am: 30. März 2023.
- [27] V. Skrzypczak, C. Fischer, I. Varfolomeev, F. Schweizer, K. Wackermann und T. Freitas, "Untersuchungen der Wasserstoffverträglichkeit von Bestandsarmaturen (UKoBaRi H₂): G 202108", Bonn, März 2024.
- [28] F. Dittmann und I. Varfolomeev, "Untersuchung von Schweißnähten an Bestandsarmaturen unter Wasserstoffatmosphäre (UKoBaRiS H₂): G 202311", Bonn, März 2024.

- [29] S. Monse, "Untersuchung des Langzeitverhaltens der Oberflächenbeschichtung der Kugelbeschichtungen und Federpakete von Absperrarmaturen unter H₂-Atmosphäre (KuFeH₂): G 202109", Bonn, Juni 2023.
- [30] S. Schulz und T. Nürnberg, "Leckratenerfassung der Wasserstoffdichtheit von Armaturen und Abdichtsystem von Bestandsarmaturen (LeA H₂ + UWaSpin H₂)" DVGW-Förderkennzeichen G 202139, Sep. 2023.
- [31] *Schweißverbindungen an Rohrleitungen aus Stahl in der Gas- und Wasserversorgung; Herstellung, Prüfung und Bewertung*, DVGW GW 350 (A), DVGW - Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, Nov. 2024.
- [32] *Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) erdüberdeckter Rohrleitungen, Rohrleitungen in komplexen Anlagen und Lagerbehälter aus Stahl; Planung, Errichtung, Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung*, DVGW GW 10 (A), DVGW - Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, Dez. 2024.
- [33] *Umstellung von Gasleitungen aus Stahlrohren bis 16 bar Betriebsdruck für die Verteilung von wasserstoffhaltigen methanreichen Gasen und Wasserstoff*, Merkblatt G 407, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW), Aug. 2022.
- [34] *Umstellung von Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar für den Transport von Wasserstoff*, Merkblatt G 409, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW), Jul. 2024.
- [35] *Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar: Planung und Errichtung*, DVGW G 463 (A), DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, Okt. 2021.
- [36] *Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar: Betrieb und Instandhaltung*, DVGW G 466-1 (A), DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., Bonn, Dez. 2021.
- [37] W. Weßing, T. Pattima, T. Lotze und M. Behlke, "energie | wasser-praxis November 2024: resilient verlässlich flexibel - Mit Wasserstoff und Biomethan in die Zukunft" Umstellung von Gasverteilnetzen auf Wasserstoff - Teil 2.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Einzuleitende betriebliche Maßnahmen zur Umstellung eines Gasverteilnetzes ≤ 5 bar.....	11
Abbildung 3.1: Einzuleitende Betriebliche Maßnahmen zur Umstellung eines Gasverteilnetzes > 5 bar bis 16 bar	19



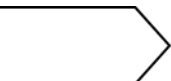
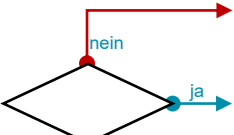
8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht H2Direkt.....	20
Tabelle 2:	Übersicht H2HoWi	21
Tabelle 3:	Übersicht H ₂ -MiX	21
Tabelle 4:	Übersicht Wasserstoffinsel Öhringen	21
Tabelle 5:	Übersicht H2-20.....	22
Tabelle 6:	Übersicht mySMARTlife	22
Tabelle 7:	Übersicht Wasserstoffprojekt Klanxbüll	23
Tabelle 8:	Übersicht Energiepark Mainz	23
Tabelle 9:	Übersicht Wasserstoff-Wärmeinsel Linnich	23
Tabelle 10:	Übersicht H ₂ -SWITCH100 (Vorbetrachtungen)	24
Tabelle 11:	Übersicht EAM-H ₂ HDL (Vorbetrachtungen)	24
Tabelle 12:	Übersicht H2Gersthofen (Vorbetrachtungen)	25
Tabelle 13:	Legende für die Prozessablaufdiagramme	32

Anhang

Nachfolgend können die einzelnen Prozessablaufdiagramme entnommen werden. Diese verstehen sich als vereinfachte Darstellung der im technischen Umstellhandbuch beschriebenen Schritte. In Tabelle 13 wird die Bedeutung der in den Ablaufdiagrammen verwendeten Symbole erläutert.

Tabelle 13: Legende für die Prozessablaufdiagramme

Darstellung	Beschreibung
	Hauptprozess
	Aufgabe oder Maßnahme
	Verweis auf anderes Ablaufdiagramm
	Entscheidung Nein (rote Linie) Ja (blaue Linie)

Anhang 1: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Errichtung

Anhang 2: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Betrieb / Instandhaltung

Anhang 3: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Inventarisierungsliste

Anhang 4: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Ersatzmaßnahmen nach G 453

Anhang 5: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz > 5 bar) – Errichtung

Anhang 6: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz > 5 bar) – Betrieb / Instandhaltung

Anhang 7: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz > 5 bar) – Inventarisierungsliste

Anhang 8: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz > 5 bar) – Ersatzmaßnahmen nach G 453

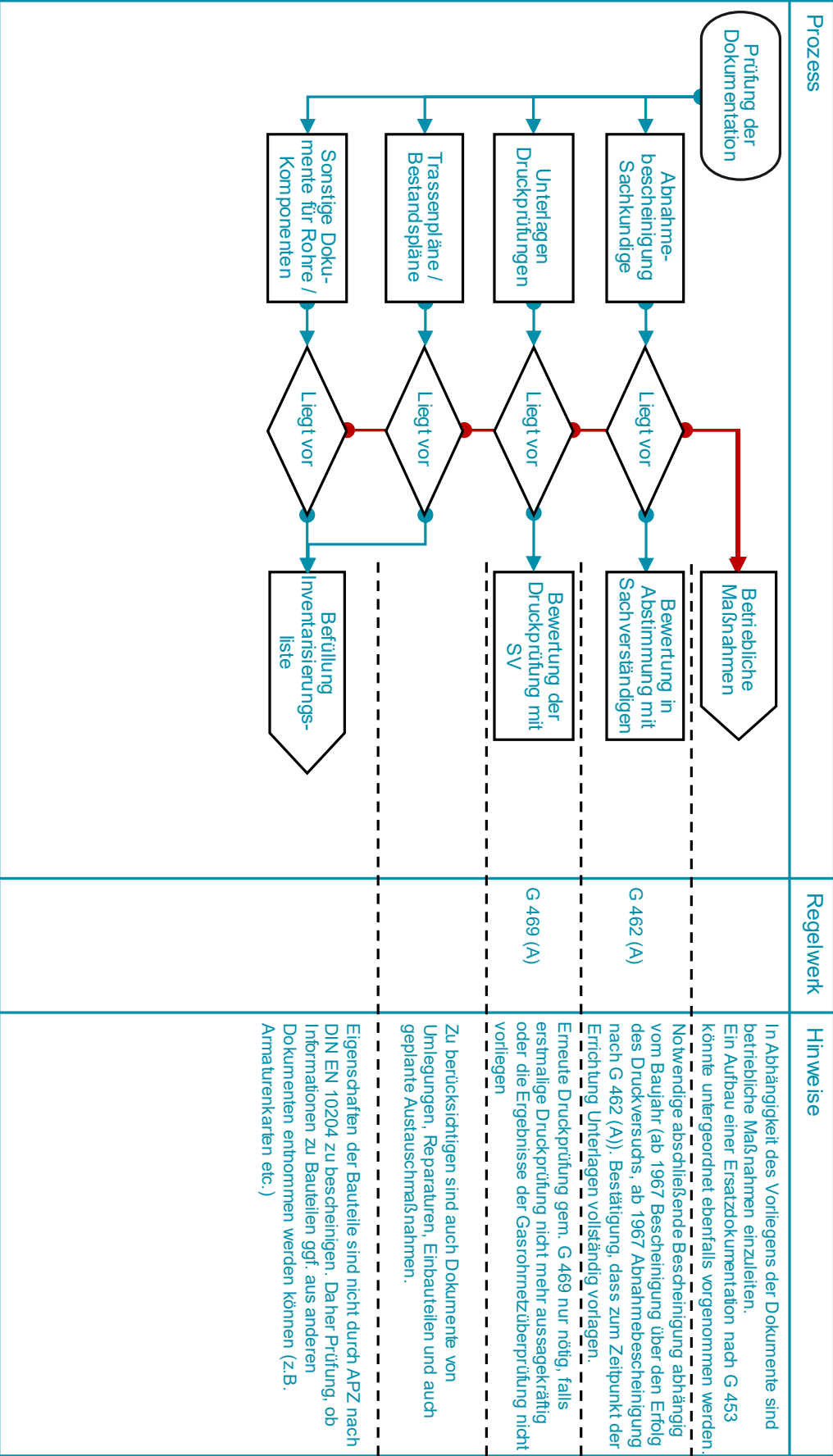
Anhang 9: Bewertung (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Rohrleitungen

Anhang 10: Bewertung (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Armaturen

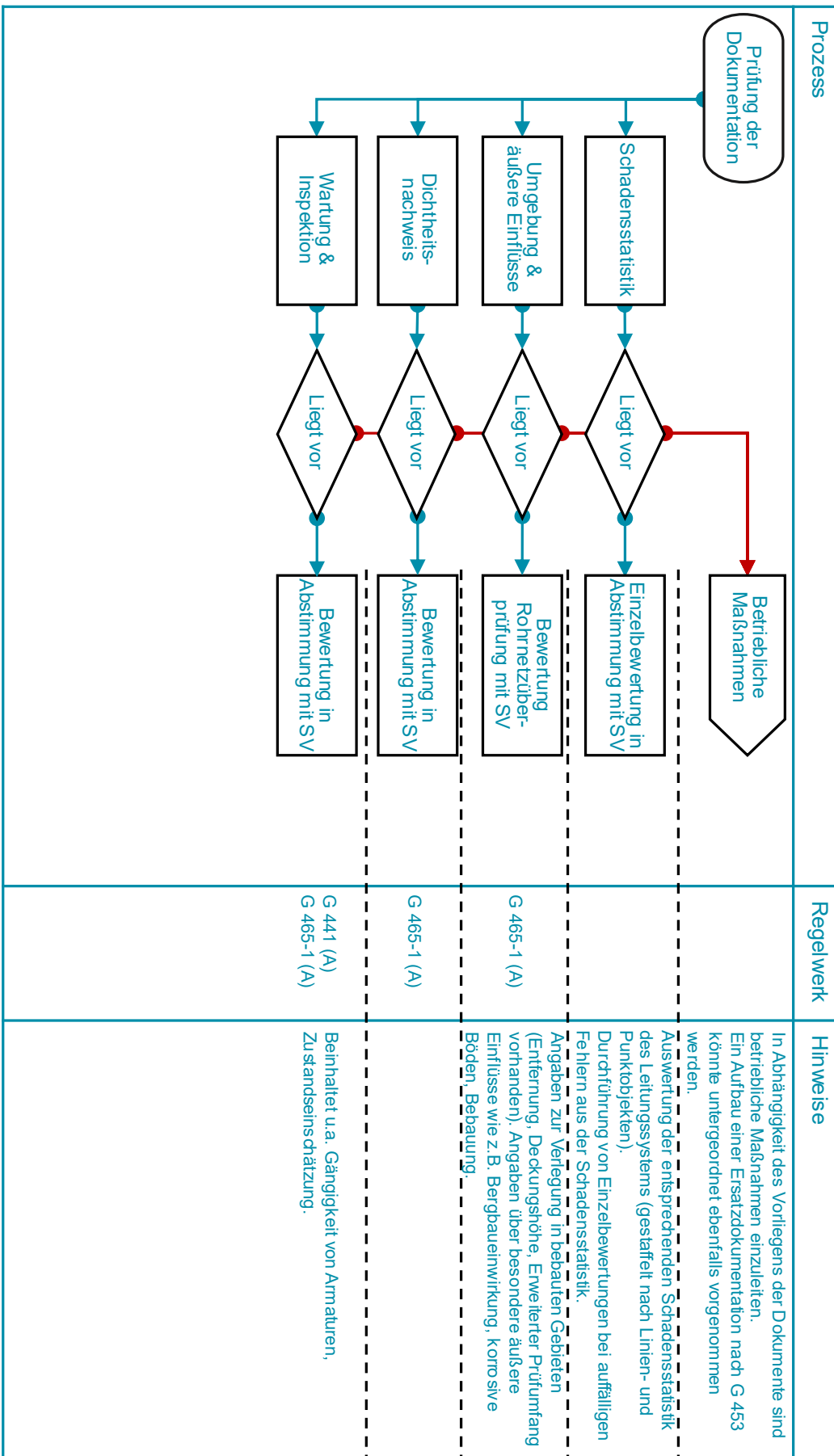
Anhang 11: Bewertung (Verteilnetz > 5 bar) – Rohrleitungen

Anhang 12: Bewertung (Verteilnetz > 5 bar) – Armaturen

Anhang 1: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Errichtung



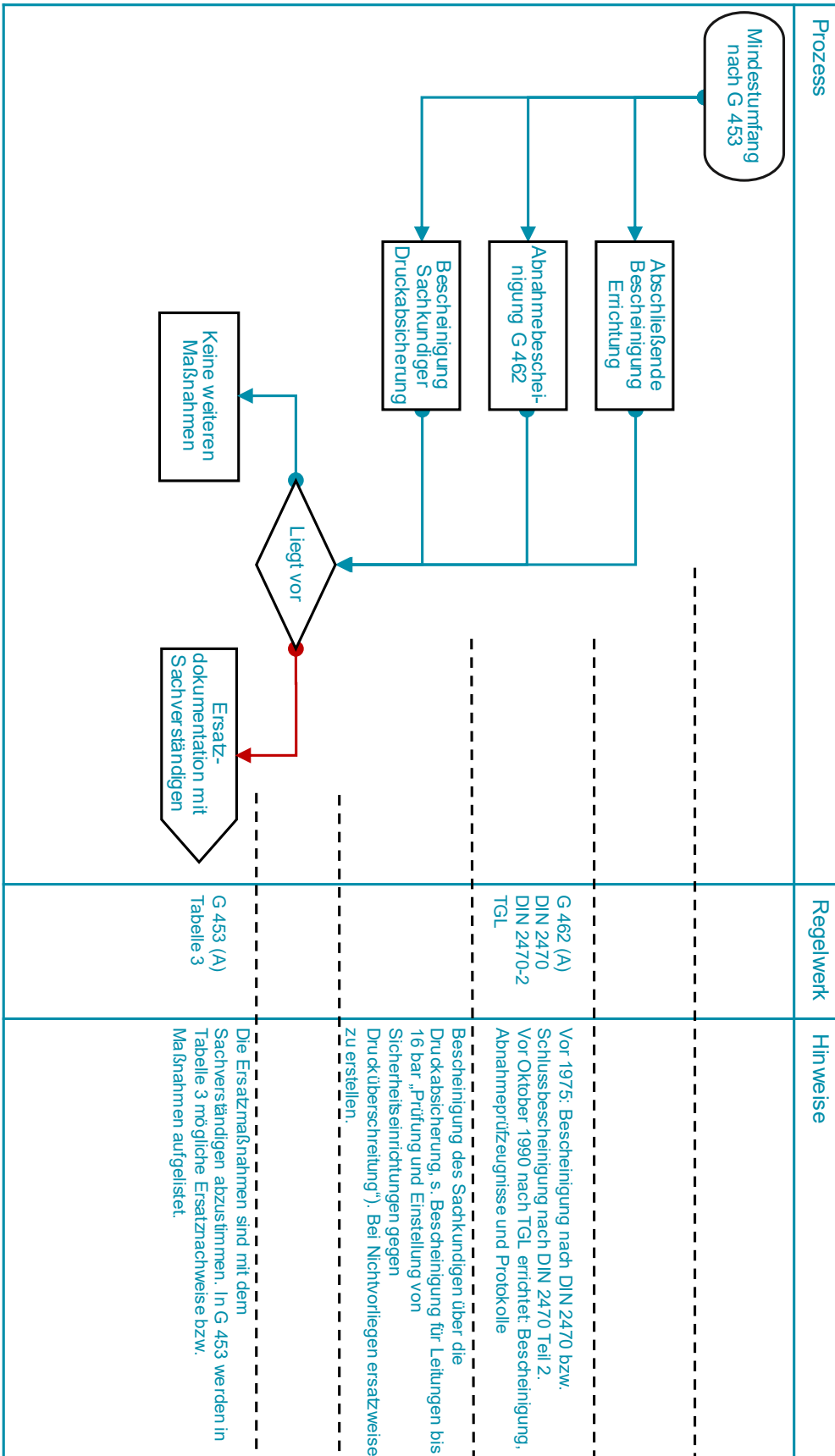
Anhang 2: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Betrieb / Instandhaltung

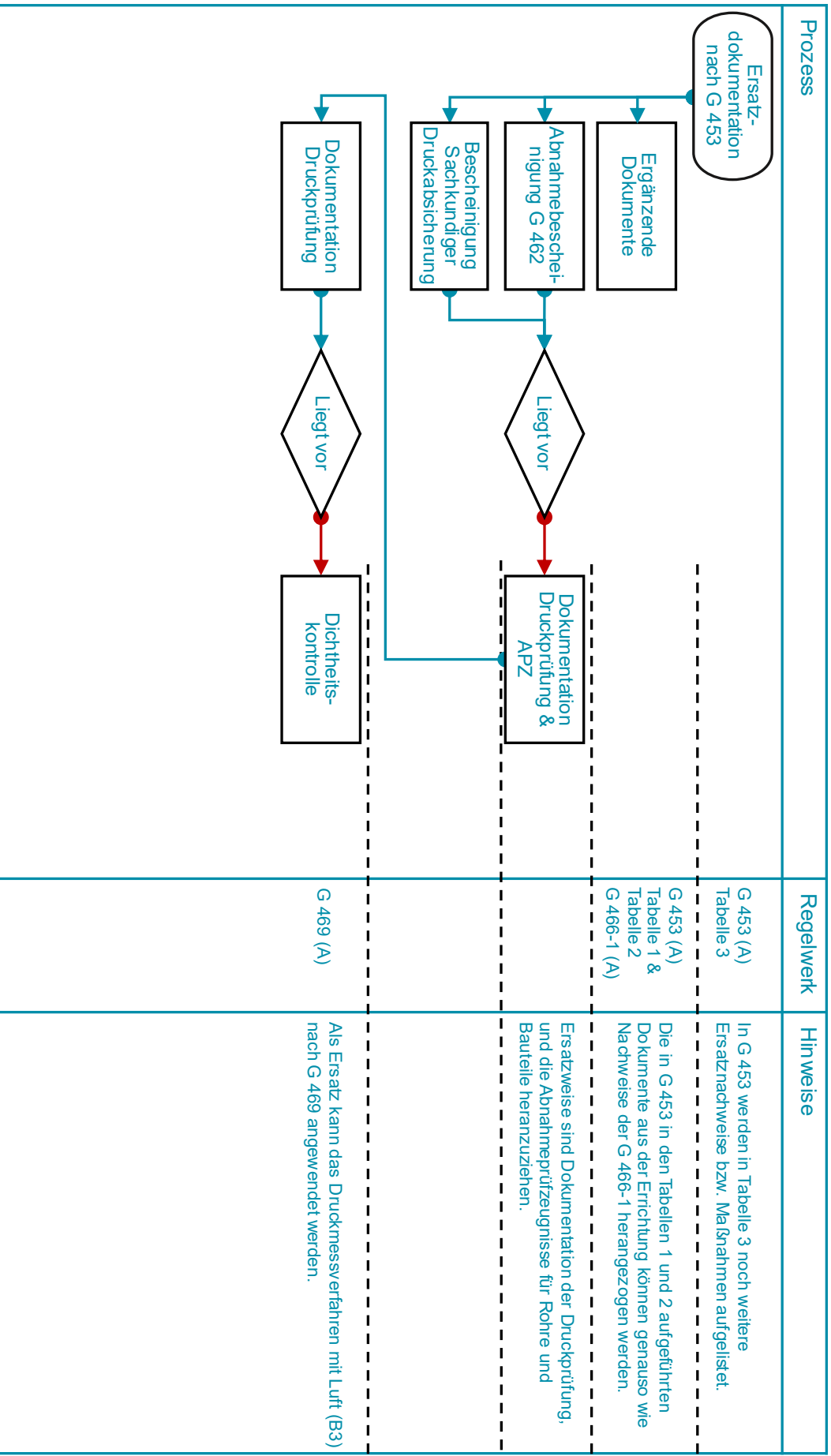


Anhang 3: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Inventarisierungsliste

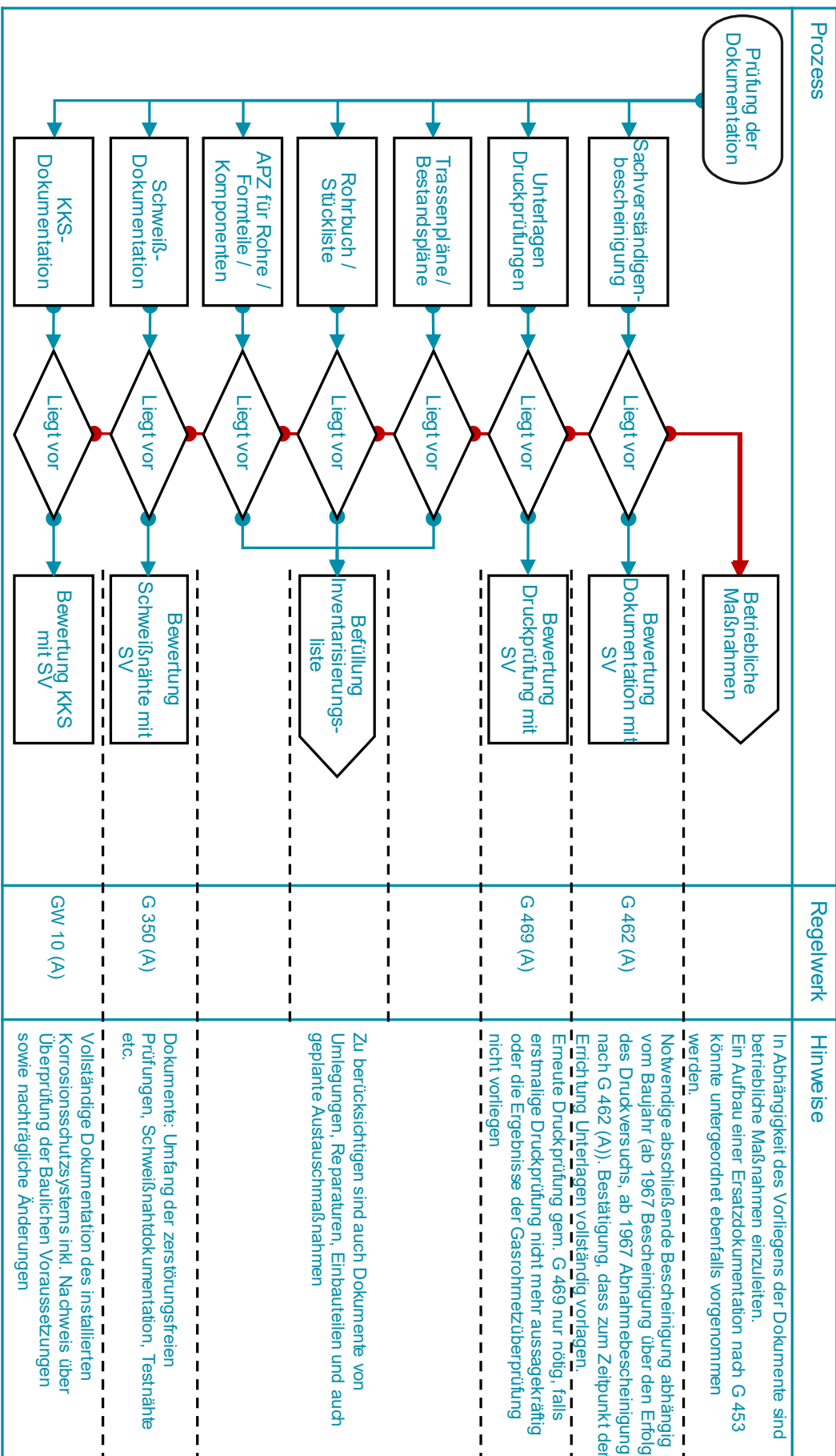
Hinweise	Regelwerk	Prozess
<p>z.B. Rohrleitung, Fitting (Bogen, T-Stück etc.), Kugelhähne etc.</p>		

Anhang 4: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Ersatzmaßnahmen nach G 453

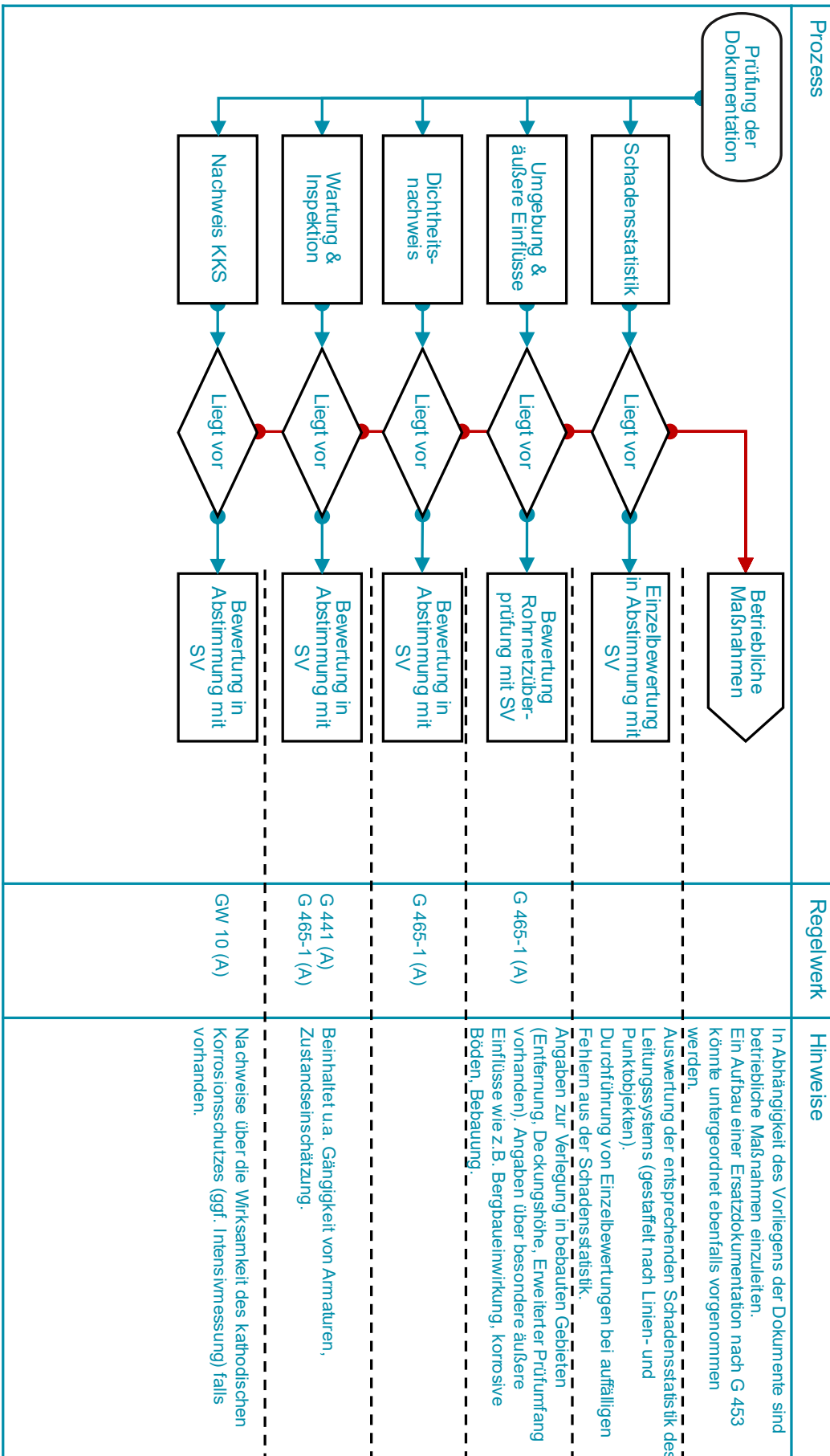




Anhang 5: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz > 5 bar) – Errichtung



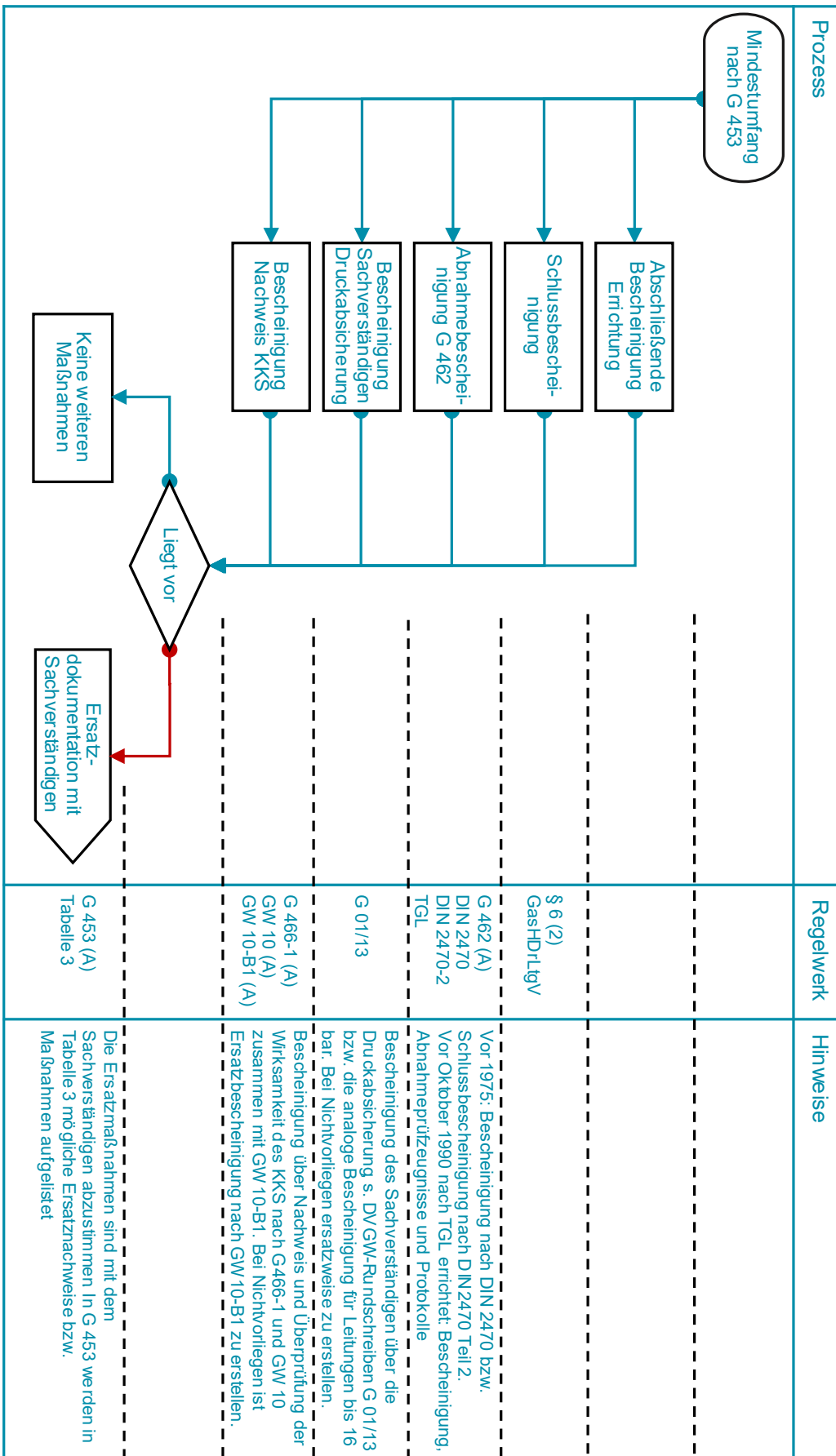
Anhang 6: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz > 5 bar) – Betrieb / Instandhaltung

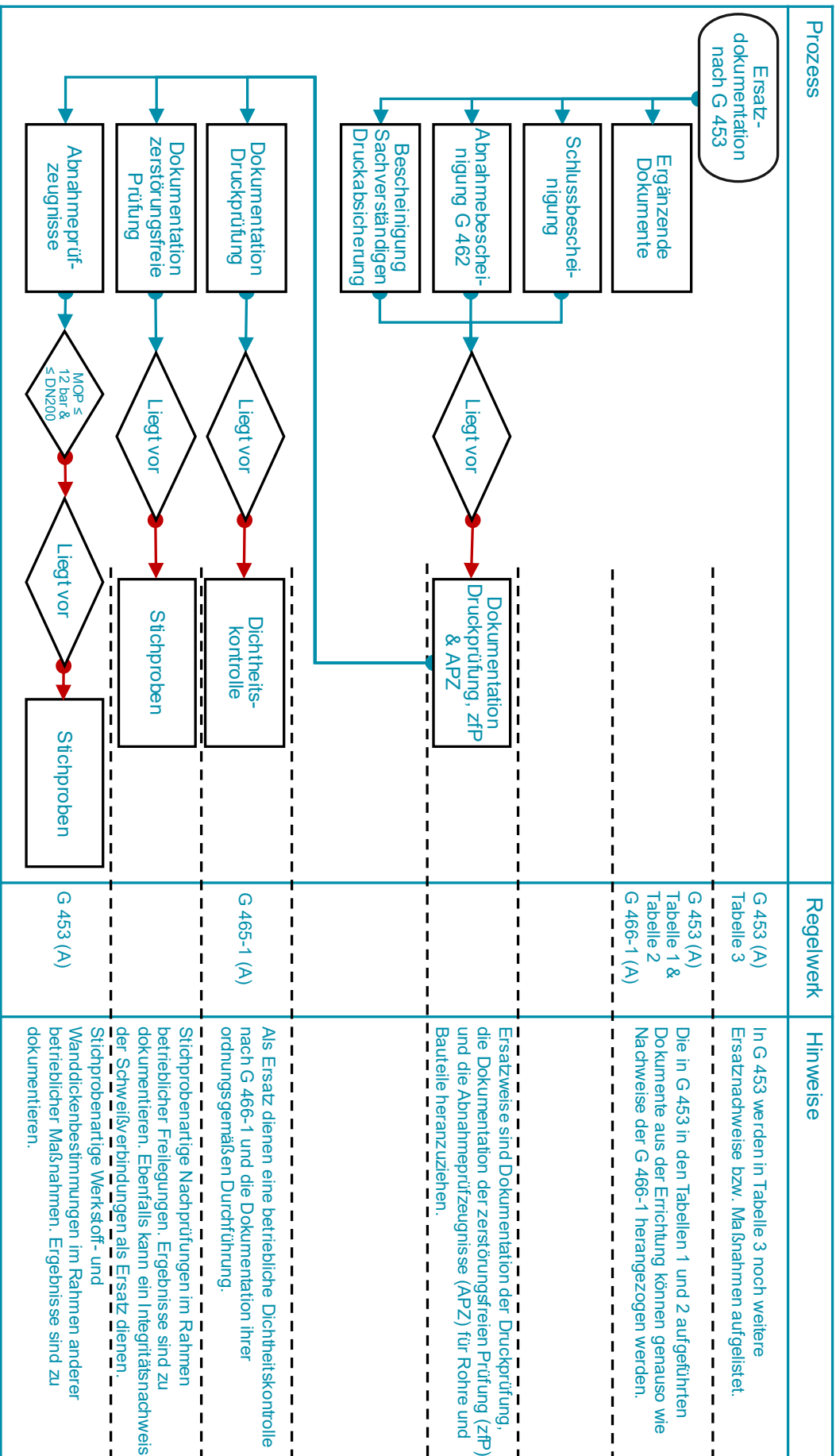


Anhang 7: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz > 5 bar) – Inventarisierungsliste

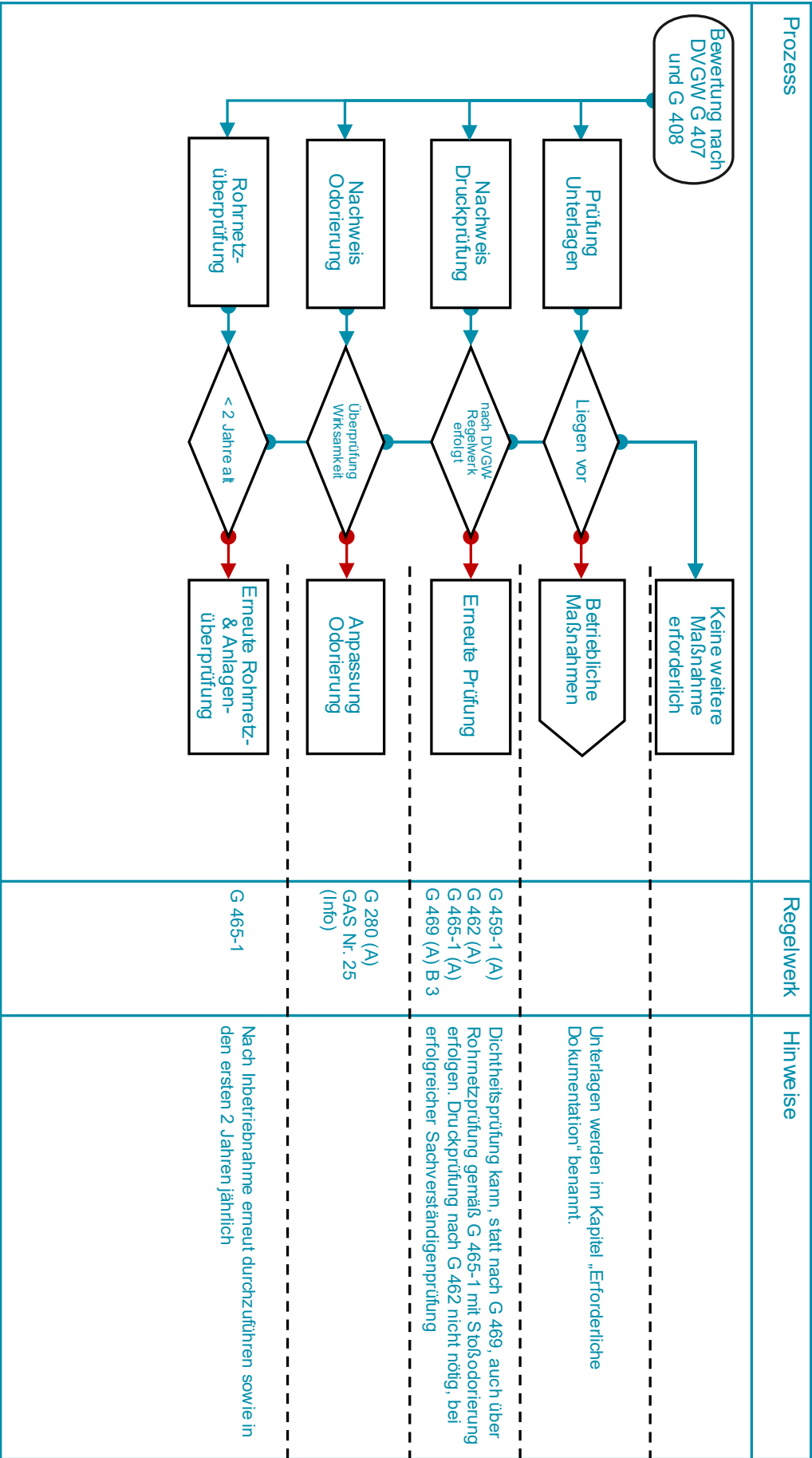
Hinweise	Regelwerk	Prozess	Regelwerk	Hinweise
z.B. Rohrleitung, Fitting (Bogen, T-Stück etc.), Filter etc.				
			G 463 (A) G 464 (M) G 407 (M)	Mindest-Streckgrenze, Wanddicke und Durchmesser werden für die Berechnung des Quotientenwertes nach G 407 Anhang B benötigt. Bei Einhaltung des Quotientenwertes kann ggf. auf eine bruchmechanische Betrachtung verzichtet werden.

Anhang 8: Erforderliche Dokumentation (Verteilnetz > 5 bar) – Ersatzmaßnahmen nach G 453

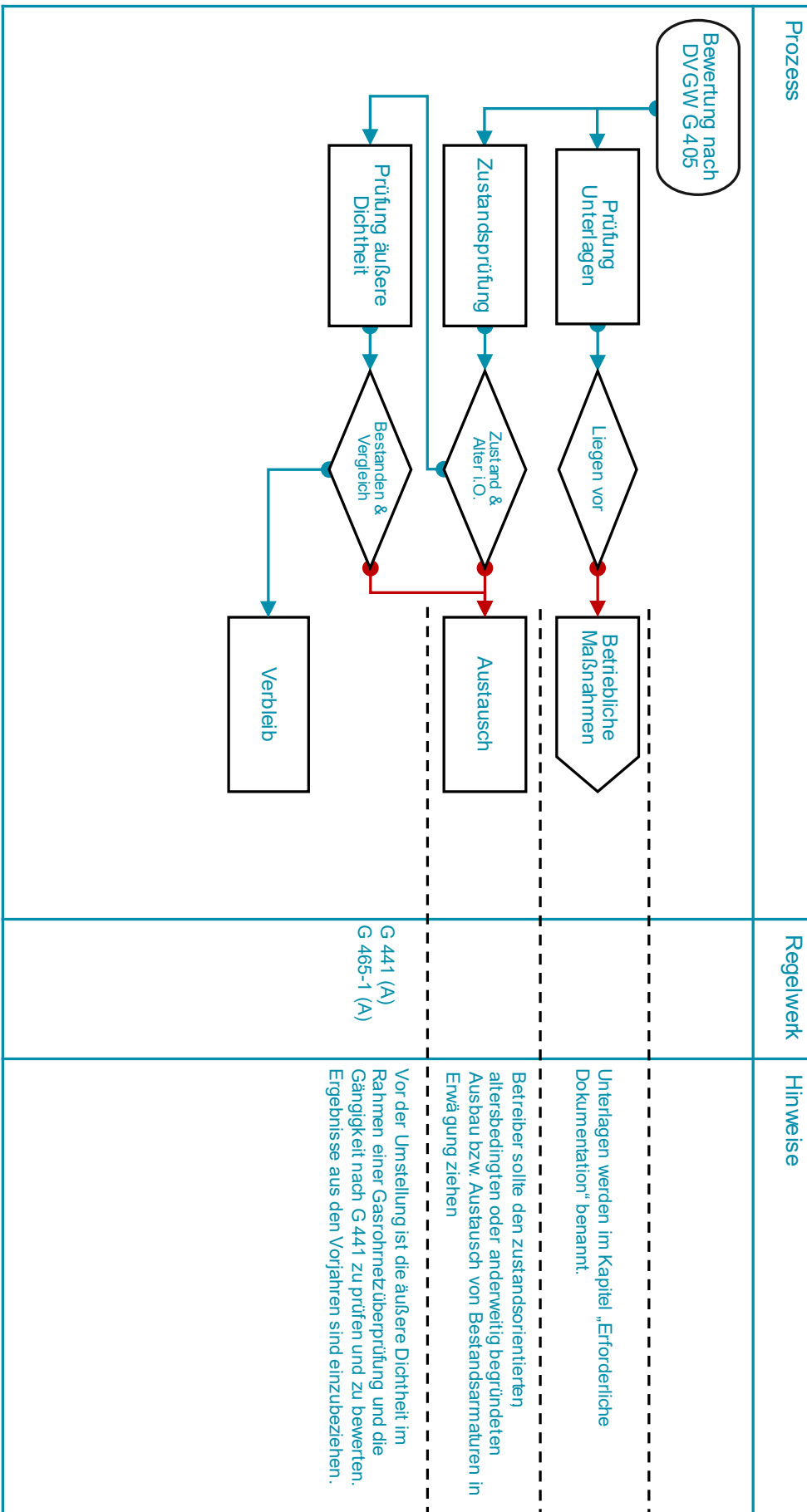




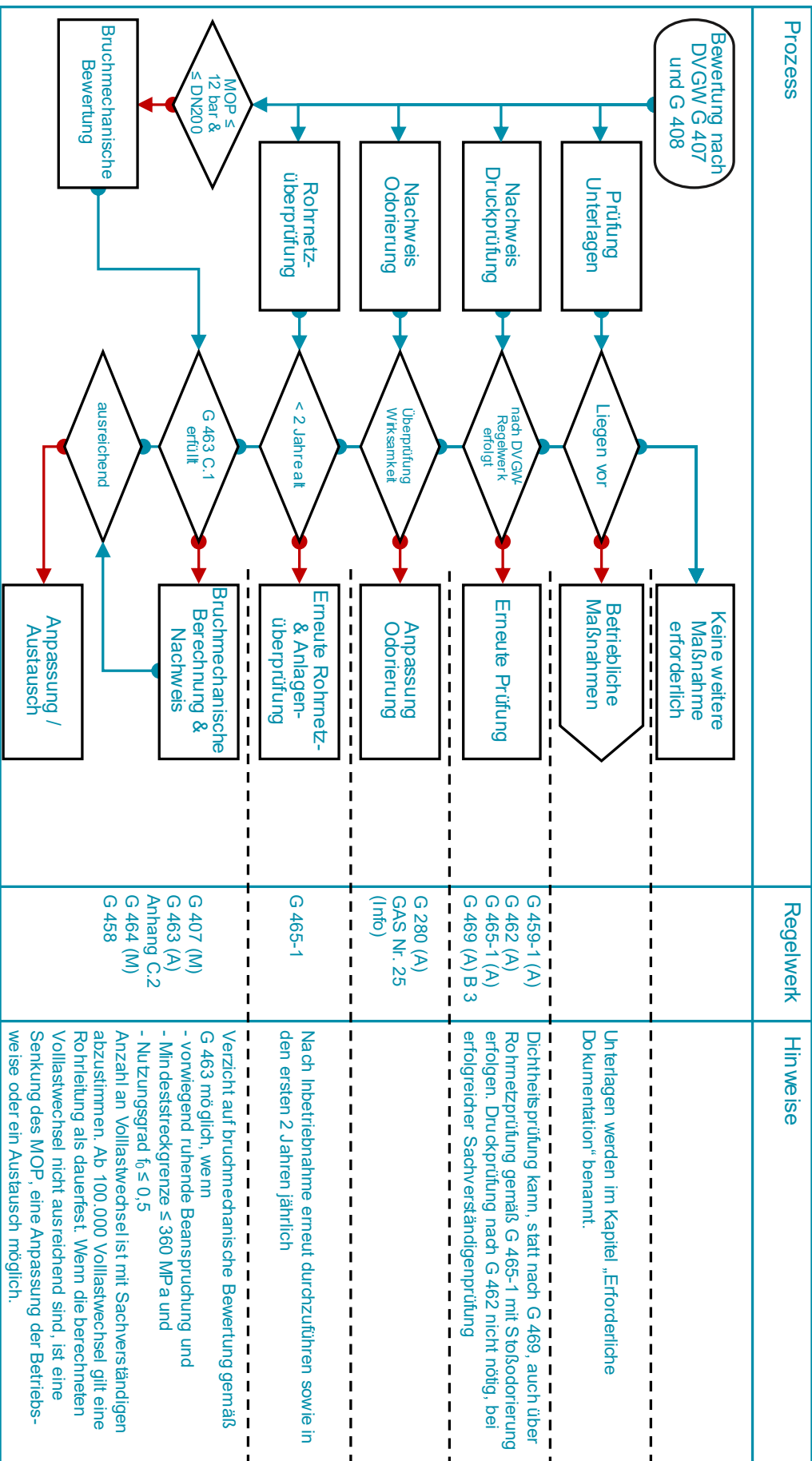
Anhang 9: Bewertung (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Rohrleitungen



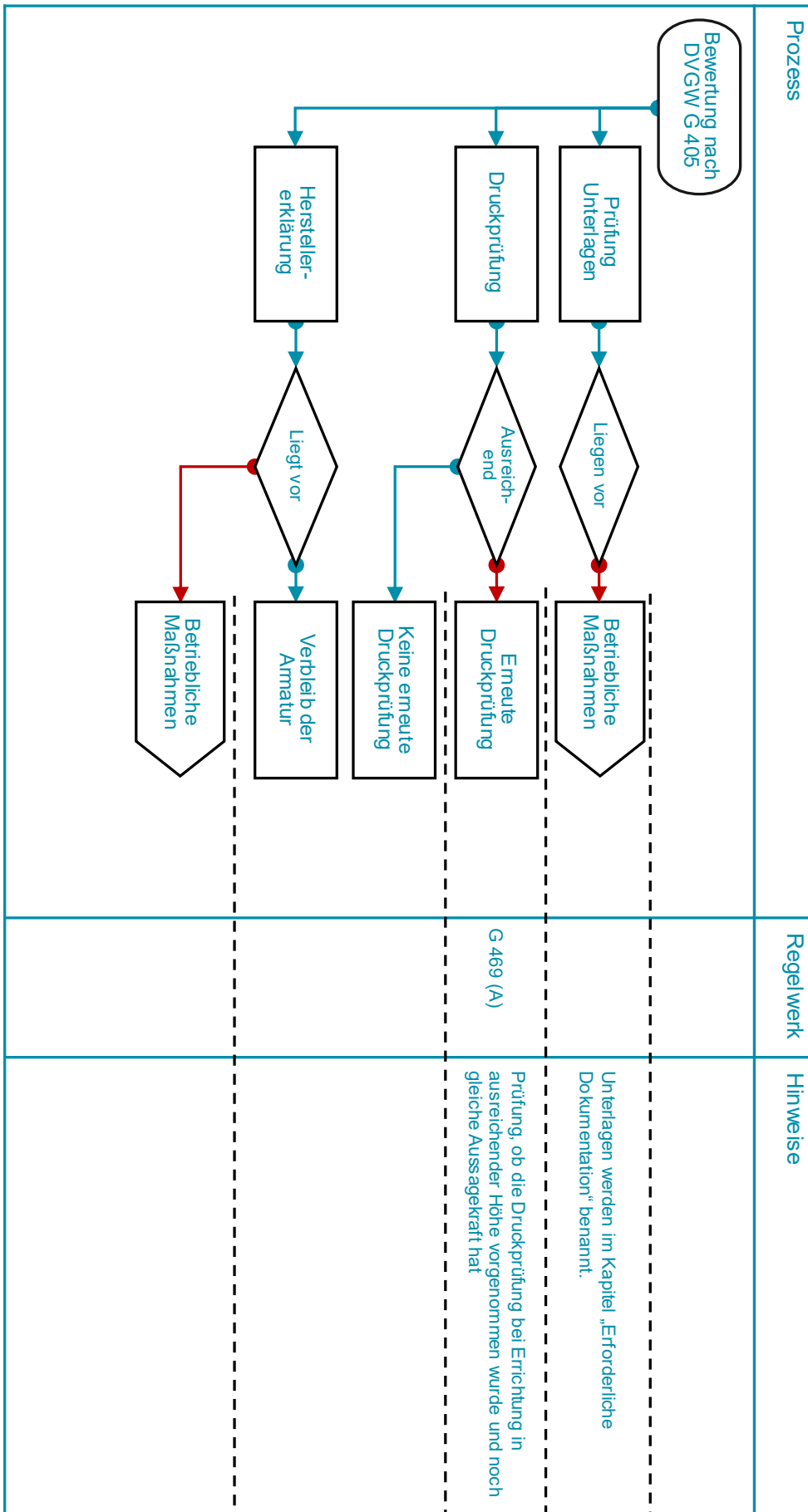
Anhang 10: Bewertung (Verteilnetz ≤ 5 bar) – Armaturen

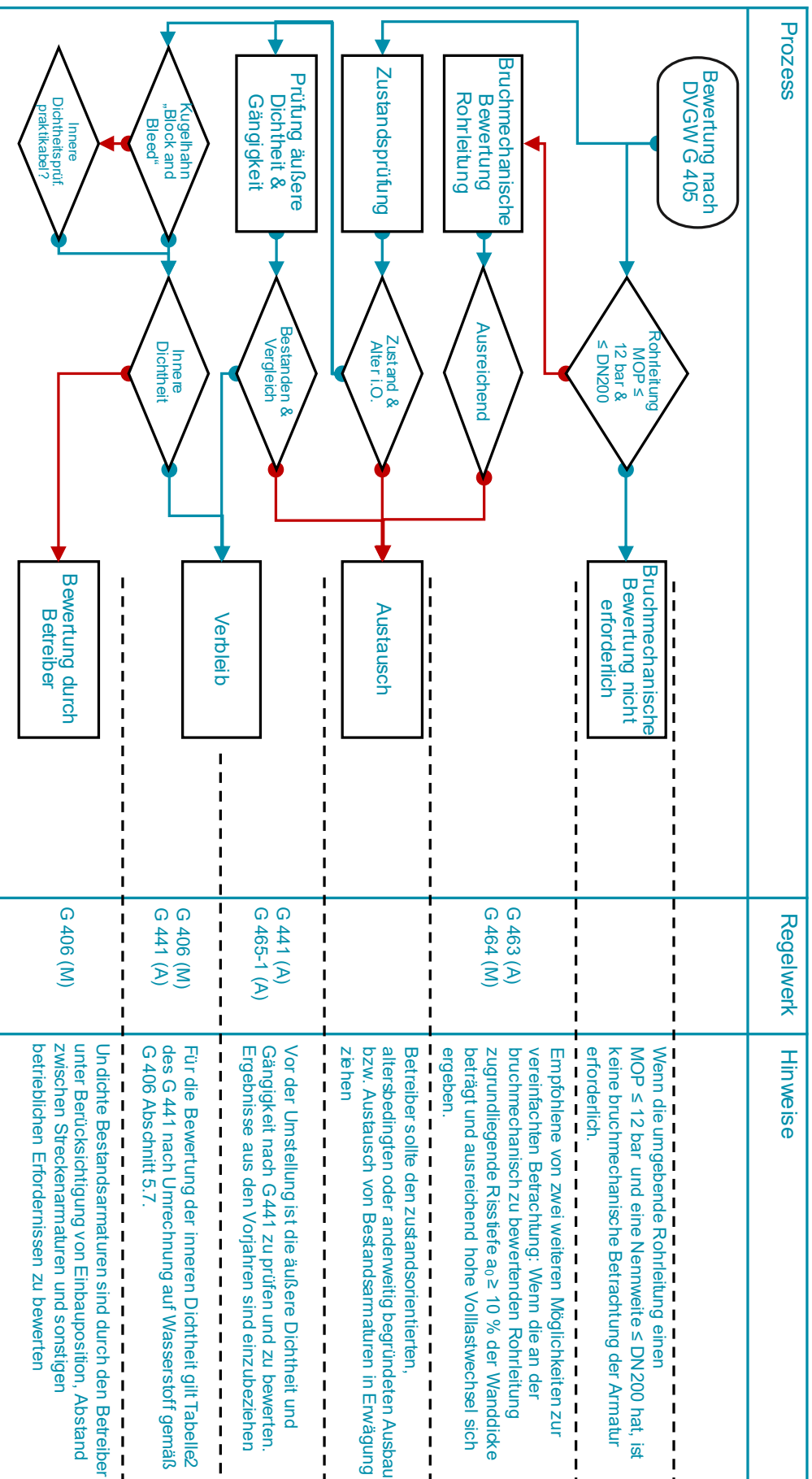


Anhang 11: Bewertung (Verteilnetz > 5 bar) – Rohrleitungen



Anhang 12: Bewertung (Verteilnetz > 5 bar) – Armaturen





Impressum

DVGW Deutscher Verein des
Gas- und Wasserfaches e. V.
Technisch-wissenschaftlicher Verein
Josef-Wirmer-Straße 1-3
53123 Bonn

Tel.: +49 228 9188-5
Fax: +49 228 9188-990
E-Mail: info@dvgw.de
Internet: www.dvgw.de

Nachdruck und Vervielfältigung nur im
Originaltext, nicht auszugsweise, gestattet.