

Interviewbasierte Analyse aktueller Entwicklungen zur Wasserstoffqualität

Studie im Auftrag von GETH2 und DVGW

Januar 2024



Autoren:

Frontier Economics

- Dr. Matthias Janssen
- Maximiliane Reger
- Julia Goročovskij

DBI

- Udo Lubenau

Ansprechpartner der Auftraggeber:

GETH2

- Frank Heunemann (Nowega)
- Nicklas Winzer (Nowega)

DVGW

- Dr. Stefan Gehrman

Agenda

#		Seite
1	Executive Summary	3
2	Hintergrund	6
3	Wasserstoffreinheit - Erzeugung	18
4	Wasserstoffreinheit - Transport	25
5	Wasserstoffreinheit - Speicher	33
6	Implikationen für das Gesamtsystem	40
7	Nächste Schritte	44

Agenda

#		Seite
1	Executive Summary	3
2	Hintergrund	6
3	Wasserstoffreinheit - Erzeugung	18
4	Wasserstoffreinheit - Transport	25
5	Wasserstoffreinheit - Speicher	33
6	Implikationen für das Gesamtsystem	40
7	Nächste Schritte	44

Interviewbasierte Analyse aktueller Entwicklungen zur Wasserstoffqualität im Auftrag von Get H2 und DVGW

Hintergrund

- Die Wasserstoffqualität im Netz ist eine der zentralen Fragestellungen im Aufbau der Wasserstoffwirtschaft. Aktuelle Diskussionen bezüglich der Wasserstoffqualität auf nationaler und europäischer Ebene unterstreichen die hohe Komplexität der Thematik.
- In vorangegangenen Studien wurden die Anforderungen an die **H2-Reinheit** eines künftigen Wasserstoffnetzes formuliert, aber bewusst keine unmittelbaren Handlungsempfehlungen oder Prognosen für ein künftiges Wasserstoffnetz ausgesprochen.
- Frontier Economics Ltd. & die DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH wurden von **Get H2 (vertreten durch Nowega) und dem DVGW beauftragt**, in einer interviewbasierten Kurzstudie den Umgang mit Wasserstoffqualität in ersten kommerziellen Projekten in Deutschland zu untersuchen.
- Ziel war eine **Bestandsaufnahme der aktuellen Best-Practice-Lösungen** in Erzeugung, Transport und Speicherung von Wasserstoff mit geplanter Inbetriebnahme bis 2027

Vorgehen

- Zehn Unternehmen** mit insgesamt **zwölf Geschäftsbereichen** wurden basierend auf **Projektstandort, Projektfortschritt, und Projektdiversität** als Teilnehmende der Studie ausgewählt:



- Zur Diskussion mit teilnehmenden Unternehmensvertretern wurden **Fragebögen** verschickt; im Anschluss wurde über strukturierte Interviews der erwartete Eintrag von Fremdstoffen weiter herausgearbeitet und kritische Punkte vertieft.
- Nach Durchführung der Interviews wurden erfasste Informationen **strukturiert ausgewertet**, um sich wiederholende Muster und mögliche Widersprüche zu identifizieren.
- Ziel war die Identifikation einer übergreifenden Strategie für jede Wertschöpfungsstufe, die anhand einer Auswahl der ersten Wasserstoffprojekte für ein abstrahiertes Netzmodell eine Bestandsanalyse ermöglicht.

Interviewbasierte Analyse aktueller Entwicklungen zur Wasserstoffqualität im Auftrag von Get H2 und DVGW

Kern- ergebnisse	Erzeugung	<ul style="list-style-type: none">■ Qualität des erzeugten Wasserstoffs variiert je Technologie<ul style="list-style-type: none">▫ Aus Elektrolyse kann (mit Sauerstoffabscheidung und Trocknung) eine hohe Qualität erreicht werden▫ Höhere Unsicherheiten für Ammoniak-Cracking, mit einer Druckwechseladsorption soll jedoch trotzdem eine Qualität über der aktuellen Grade A erreicht werden können■ Erzeugungsseitig kann insgesamt voraussichtlich eine Qualität über dem aktuellen Grade A erreicht werden.
	Transport	<ul style="list-style-type: none">■ Verunreinigungen durch Transport unterscheiden sich zwischen neuen und umgewidmeten Leitungen.<ul style="list-style-type: none">▫ für neue Leitungen kurzfristig eine hohe Qualität haltbar (Grade D)▫ In umgewidmeten Leitungen werden kurzfristig stärkere Verunreinigungen erwartet, mittel- bis langfristig kann eine mittlere Qualität gehalten werden, die über die aktuelle Grade A hinausgeht.■ Langfristig kann im Transportnetz eine Qualität >A (aber < D) erreicht werden.
	Speicher	<ul style="list-style-type: none">■ Aus Speicherung werden signifikante Verunreinigungen erwartet; bei Einspeicherung von Grade A ist der ausgespeicherte Wasserstoff voraussichtlich unter Grade A■ Weiterer Analysebedarf besteht bzgl. erreichbarer Grenzwerte einzelner Verunreinigungen■ Eine Aufreinigung zurück auf Grade A wird von den Befragten als umsetzbar eingeschätzt und in bisherigen Planungen berücksichtigt; höhere Qualitäten sind jedoch mit signifikantem Mehraufwand und großer Unsicherheit verbunden.
Nächste Schritte	<ul style="list-style-type: none">■ Diskussion der Wasserstoffqualitäten ist entscheidend; dabei sollte der Fokus weg von Diskussionen um bestehende Qualitätsniveaus (Grade A und D) und hin zu Untersuchungen von Grenzwerten für einzelne Verunreinigungen■ Die Einbindung der nationalen Diskussion auf der europäischen Ebene bleibt weiterhin essenziell	

Aktuelle Einschränkungen der Speicher begrenzen die erreichbare Qualität im Gesamtnetz

Agenda

#		Seite
1	Executive Summary	3
2	Hintergrund	6
3	Wasserstoffreinheit - Erzeugung	18
4	Wasserstoffreinheit - Transport	25
5	Wasserstoffreinheit - Speicher	33
6	Implikationen für das Gesamtsystem	40
7	Nächste Schritte	44

Hintergrund und Ziel der Studie

Herausforderung

- In Deutschland und Europa soll **in Höchstgeschwindigkeit eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft** aufgebaut werden.
- Um dieses Ziel zu erreichen, gilt es, **diverse Wasserstoffquellen** (und –“farben“) zu nutzen um **unterschiedlichste Abnehmer mit einem breiten Spektrum an Anforderungen** zu versorgen.
- Netz- und Speicherbetreiber stehen vor der Herausforderung, **eine effiziente Infrastruktur** zu schaffen, die Produzenten und Abnehmer zusammenbringt. **Wasserstoffqualität** ist dabei eine wichtige Stellgröße für Investitionen.

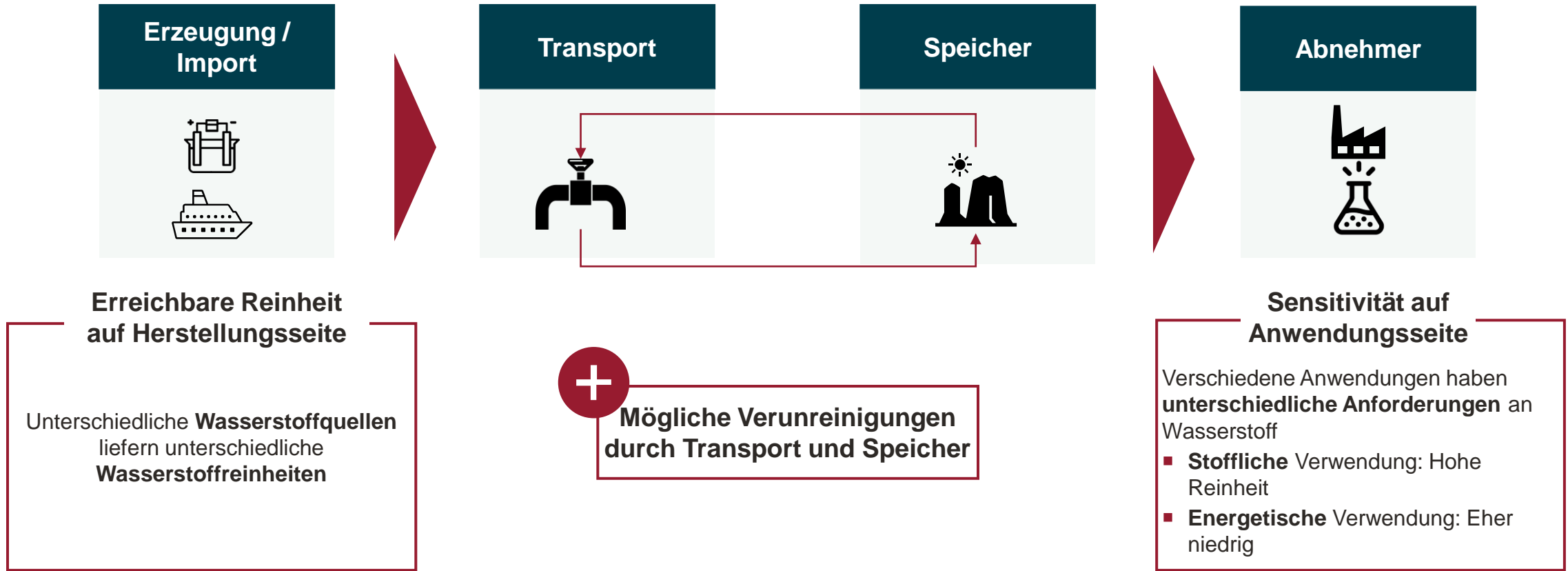
Offene Fragen aus Vorarbeiten

- **Lösungsansätze:** Die [Vorstudie](#) hat die Anforderungen an die **H2-Reinheit** eines künftigen Wasserstoffnetzes formuliert, aber bewusst keine unmittelbaren Handlungsempfehlungen oder Prognosen für ein künftiges Wasserstoffnetz ausgesprochen.
- **Kurzfristige Implikationen:** Viele bestehende Studien haben einen Fokus auf die langfristigen Vision 2045, von unmittelbaren Entwicklungen wird oft abstrahiert.
 - Eine universalgültige Handlungsempfehlung über den gesamten Entwicklungspfad erscheint aufgrund der Heterogenität der Einzelbestandteile und Vielzahl von Variablen des Gesamtsystems schwierig.

Unser Ansatz

- Um die Heterogenität von Projekten zu adressieren, wurden in einer **interviewbasierten Auswertung** konkrete Lösungsansätze zum Umgang mit diversen Qualitätsanforderungen an Wasserstoff untersucht, mit **Fokus auf die Jahre bis 2027**.
- Erste „First Mover“ Projekte gehen in den nächsten 5 Jahren in Betrieb und legen damit den Grundstein für das Wasserstoff-Kernnetz. Hierzu werden in den kommenden Monaten **wegweisende Investitionsentscheidungen** getroffen.
 - Ergebnis: **Essenz der aktuellen „Best Practice“ in den ersten kommerziellen Projekten.**

Warum ist Wasserstoffreinheit für das Gesamtsystem relevant?



Damit ein Gesamtsystem funktionieren kann, ist **eine gemeinsame, abgestimmte H2 Qualität erforderlich**
Vorstudie: Wasserstoffqualität in einem gesamtdeutschen Wasserstoffnetz

Frontier Economics und DBI leiten als neutrale dritte Partei die Durchführung der Studie



- Beratungsunternehmen mit Fokus auf Gestaltung von Marktregeln und Strategien in verschiedensten Branchen
 - Über 80 Ökonom:innen aktiv im Geschäftsbereich Energie, (größte Sektorexpertise des Unternehmens)
- Unterstützung von Unternehmen bei ökonomischen Herausforderungen und Hilfe bei der Entwicklung innovativer politischer Instrumente und Regulierungsregimes
 - Erfahrung erstreckt sich auf diverse Branchen

Themengebiete

Energie und Klima

Synthetische Kraftstoffe	Strom	Gas	Wasserstoff
Handel / Verbraucher	Finanzdienstleistungen	Automotive	Transport
Wasser	Technologie	Gesundheit / Soziales	Kommunikation

Relevante Projekterfahrung

<p>Analyse der Rolle von Wasserstoff im Wärmemarkt</p>	<p>Bewertung von Politikmaßnahmen zur Regulierung von Wasserstoffnetzen</p>
<p>Beratung zu Hemmnissen für Hochlauf klimaneutraler Gase und entsprechender Politikmaßnahmen</p>	<p>Identifizierung / Analyse der Perspektiven von klimaneutralen Gasen und erforderlichen Politikmaßnahmen in 8 europäischen Ländern.</p>



- Dienstleistungs- und Engineeringunternehmen im Bereich der Gasindustrie
 - Über 150 Mitarbeiter:innen mit dem Fokus auf Lösungen im Bereich Transport, Speicherung und Anwendung von Gasen
- Umfangreiche Erfahrungen bei der Lösung von chemischen und technischen Fragestellungen beim Übergang von Erdgas auf „grüne“ Gase
 - Erfahrungen auf der gesamten Wertschöpfungskette von Gaserzeugung bis zur Anwendung

Fachgebiete

Gasspeicherung	Gasnetze	Gaschemie	Erneuerbare Gase
Prüfstelle	Gasaufbereitung	Gasanwendung	Gasverfahrenstechnik

Relevante Gase

Wasserstoff	Erdgas / LNG	Biogas	CO ₂
-------------	--------------	--------	-----------------

Relevante Projekterfahrung

ENERGIEPARK
BAD LAUCHSTÄDT

H₂-Infra

Leitprojekt
H₂Giga

MethySto
Metrology for Advanced
Hydrogen Storage Solutions

verifHy
HydrogenREADY
Database

Projektüberblick



Die Auswahl der Interviewpartner erfolgte auf Basis relevanter Kriterien

Anforderung

Hintergrund

Standort

- Projektstandorte möglichst in Deutschland bzw. deutscher Regulatorik unterliegend

- Lokale Projekte sind unmittelbar umzusetzen und passen zum zeitlichen Fokus (Umsetzung bis 2027).
- Die Verbindung zu einem integrierten europäischen Backbone wird erwartungsgemäß erst mittelfristig relevant

Projektfortschritt

- Zeitnahe Inbetriebnahme (bis ~2030)

- Fortgeschrittene Projekte haben die Frage nach Wasserstoffqualität bereits diskutiert und können konkrete Antworten basierend auf praktischen Erkenntnissen geben.

Projektvielfalt

- Abdeckung diverser Technologien und Rahmenbedingungen

- Abdeckung eines möglichst umfassenden Bildes an möglichen Fällen durch die Studie
- Diverse Teilnehmende pro Technologie / Wertschöpfungsstufe, um eine solide Ausgangsbasis zu schaffen

Die befragten Unternehmen decken alle relevanten Stufen der Wertschöpfung ab

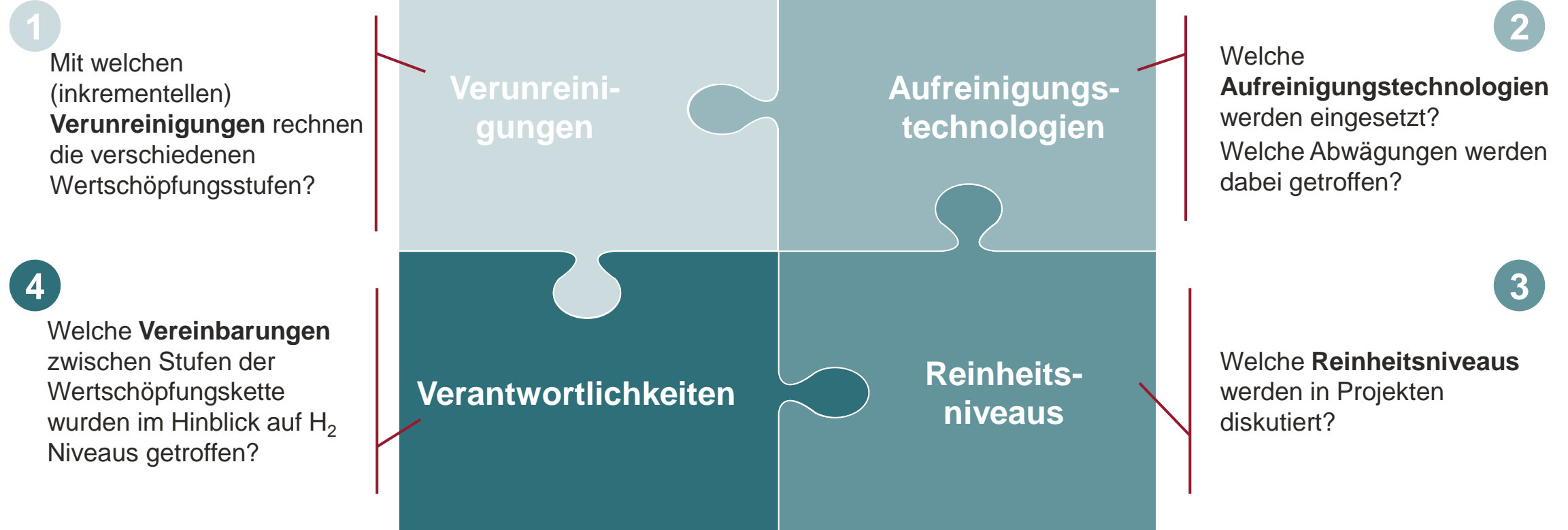


Fragebogen und Interview haben alle für die Kurzstudie relevanten Themengebiete aus technischer und organisatorischer Perspektive abgedeckt

Fragenkategorie	Inhalt
1 Allgemeine Unternehmensinformationen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unternehmen, Größe des Unternehmens ▪ Identifikation des Ansprechpartners und Kontaktdaten
2 Fragen zu Marktaktivitäten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auflistung der relevanten Projektaktivitäten ▪ Auswahl der relevanten Wertschöpfungsstufen
3 Allgemeine Fragen zur Wertschöpfung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unternehmensstandorte mit relevanten Anlagen ▪ (Geplantes) Datum der Inbetriebnahme zur zeitlichen Einordnung
4 Fragen zu technischen Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Technologie der Erzeugung, Kapazität der Anlage, erwartete Produktion, Infrastrukturanbindung ▪ Länge/Größe der Infrastruktur, Betriebsdruck, ehem. Nutzung für Erdgas
5 Fragen zur Wasserstoffqualität	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erwartete Wasserstoffqualität in jedem Prozessschritt, erwartete Verunreinigungen, geplante Aufreinigungsprozesse, potenziell festgelegte Qualitätsstandards ▪ Entstehung von Nebenprodukten, Wasserstoffverluste, Erwartungen und Anforderungen an Wasserstoffqualität ▪ Aufteilung der Verantwortlichkeiten zwischen Projektpartnern, Berücksichtigung unterschiedlicher Wasserstoffqualitäten




Teil 3, 4 und 5 separat für jede relevante Wertschöpfungsstufe aufgesetzt

Die Ergebnisse der Studie orientieren sich an vier Kernthemen

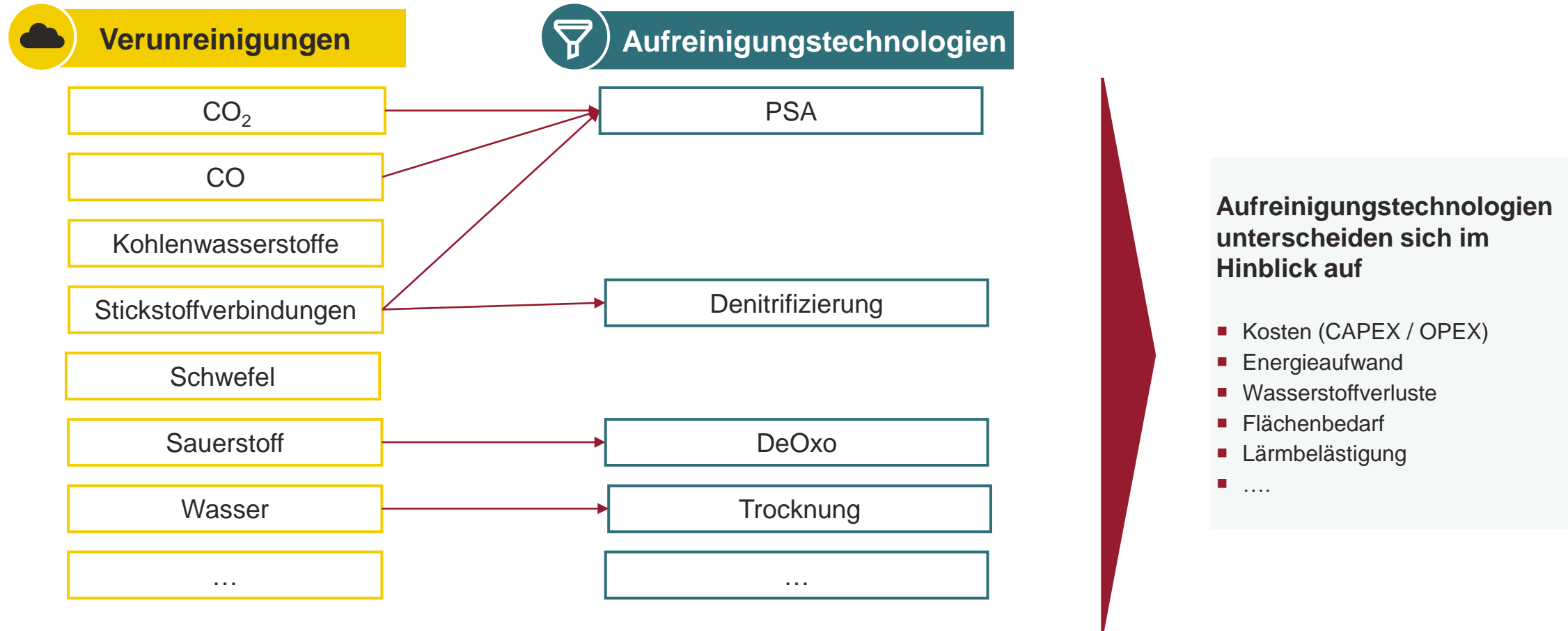


Die Kernthemen sind grundsätzlich **eng miteinander verbunden** und nicht gänzlich voneinander trennbar.
Die Untergliederung dient hauptsächlich der **Strukturierung**.

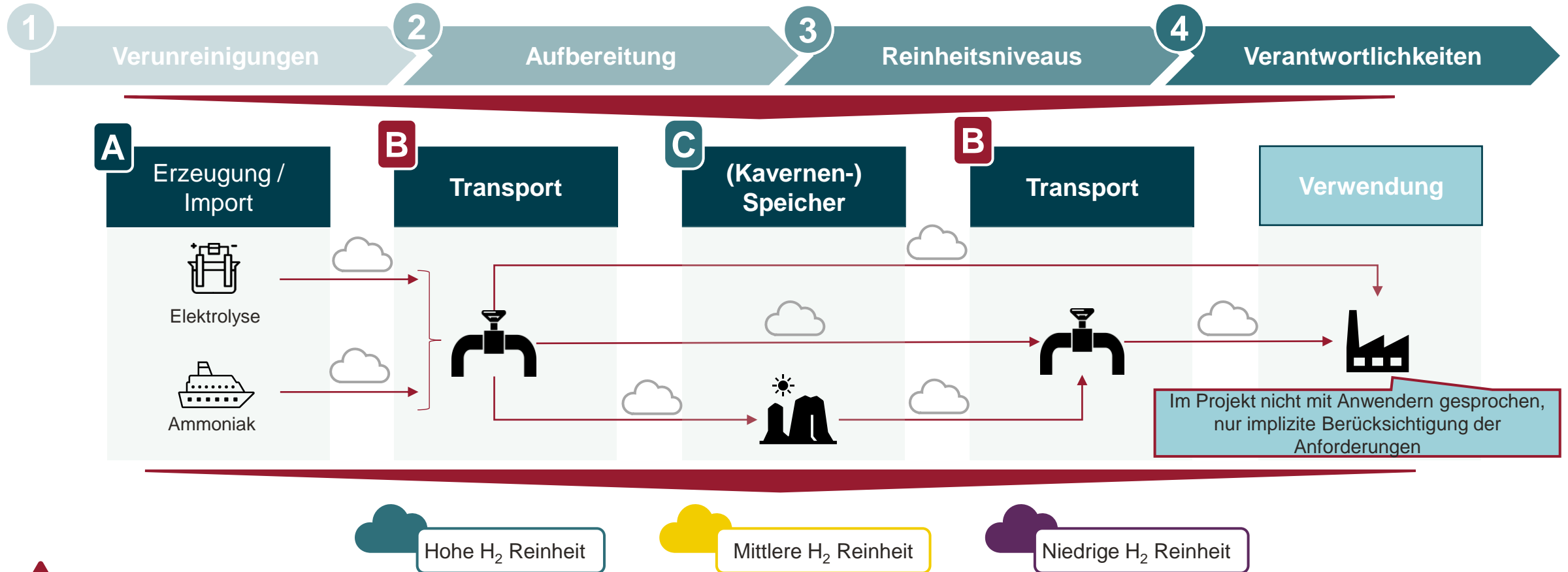
Recap - Aktuell diskutierte Wasserstoff Reinheitsniveaus

Parameter	DVGW G 260 H ₂ , Gruppe D 	vorgeschlagen durch DNV, KIWA* 	DVGW G 260 H ₂ , Gruppe A 
Wasserstoff	≥ 99,97 mol-%	≥ 99,5 mol-%	≥ 98 mol-%
Nicht H ₂ -Gase	≤ 300 ppm	≤ 0,5 mol %	≤ 2 mol %
Wasser (Taupunkt)	5 ppm	≤ - 8 °C bei 70 bara	200 bzw 50 mg / m ³
NMKW	2 ppm	< 0,5 mol% inkl. CH ₄	-
Methan	100 ppm		
KW-Kondensationspunkt	-	≤ - 2 °C bei 1 - 70 bara	≤ - 2 °C bei 1 - 70 bara
Sauerstoff	5 ppm	10 ppm	0,001 mol-% (=10 ppm) / 1 mol-% (=10.000ppm)
Kohlenstoffdioxid	2 ppm	20 ppm	2,5 / 4 mol-% (=40.000 ppm)
Kohlenstoffmonoxid	0,2 ppm	20 ppm	0,1 mol-% (=1.000 ppm)
Gesamt-Schwefel	0,004 ppm	3 ppm	10 mg / m ³ (mit Odorierung)
Ammoniak	0,1 ppm	10 ppm	10 mg / m ³ (NH ₃ + Amine)

Verschiedene Technologien stehen zur Aufbereitung von Wasserstoff zur Verfügung



Kernthemen ergeben mögliche H₂ Qualitäten und müssen für jeden Schritt der Wertschöpfungskette durchdacht werden

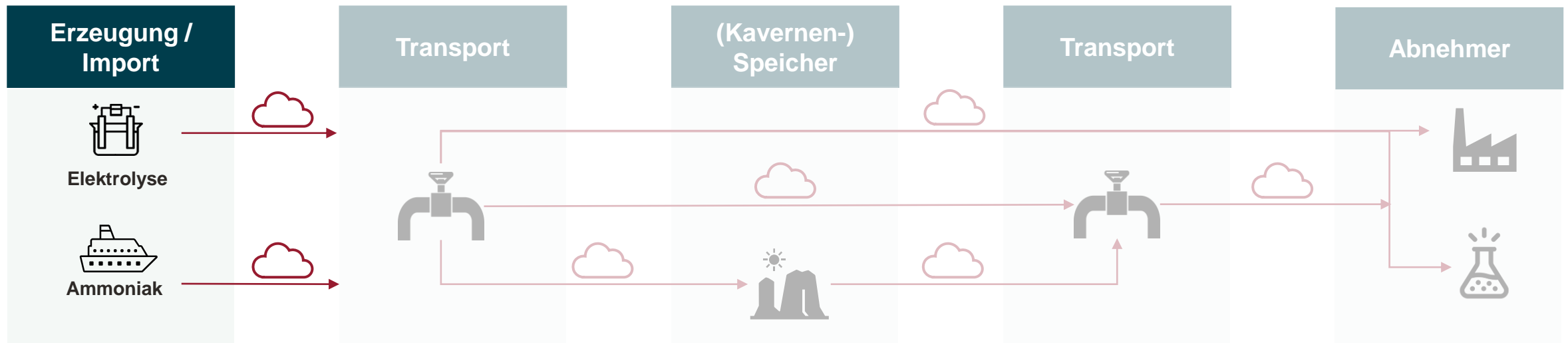


Die Ergebnisse der Studie basieren auf den Angaben der befragten Unternehmen. Sie können kein abschließendes Bild über die Einschätzung aller (zukünftigen) Marktteilnehmenden bilden.

Agenda

#		Seite
1	Executive Summary	3
2	Hintergrund	6
3	Wasserstoffreinheit - Erzeugung	18
4	Wasserstoffreinheit - Transport	25
5	Wasserstoffreinheit - Speicher	33
6	Implikationen für das Gesamtsystem	40
7	Nächste Schritte	44

A Erzeugung



A Erzeugung: Kernergebnisse



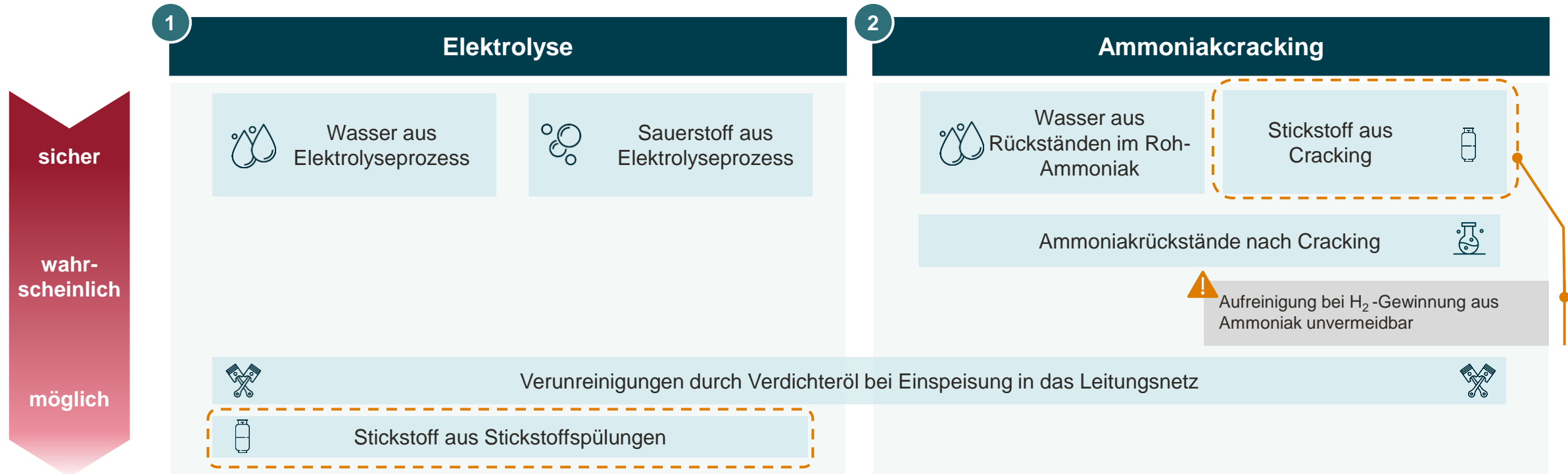
- Qualität des erzeugten Wasserstoffs variiert je Technologie
 - Aus **Elektrolyse** kann (mit Sauerstoffabscheidung und Trocknung) **eine hohe Qualität erreicht werden**
 - Höhere Unsicherheiten für **Ammoniak-Cracking**, mit einer Druckwechseladsorption soll jedoch trotzdem eine Qualität über der aktuellen Grade A erreicht werden können




- Erzeugungsseitig kann insgesamt voraussichtlich eine Qualität über dem aktuellen Grade A erreicht werden.

A Verunreinigungen aus der Erzeugung sind stark von der Art der Erzeugung oder des Imports abhängig

- Verunreinigungen aus der Erzeugung hängen von der **Art der Erzeugung** ab.
- Während H_2 aus Elektrolyse vergleichsweise „sauber“ ist, ist bei **Importen über Carriermoleküle mit stärkeren Kontaminationen** zu rechnen. Hier fehlen aktuell aber noch Erfahrungen aus dem industriellen Betrieb von Anlagen.



 Laut Befragten besonders kosten- und energieintensive Entfernung

A Durch Aufbereitungstechnologien können mögliche Verunreinigungen minimiert werden

1

Elektrolyse



Maßnahmen

- Trocknung
- Sauerstoffentfernung
- PSA (?)

Wirkung

- **Entfernung von Sauerstoff und Wasserrückständen** im Anschluss an Elektrolyse, um eine hohe Wasserstoffreinheit zu erreichen
- Anlagen werden entweder von Elektrolyse Herstellern mit eingeplant oder müssen explizit beauftragt werden
- Sollte es zu **signifikanten Stickstoffrückständen** durch Spülungen kommen, wäre eine **PSA** erforderlich

Aktuell geplant?

- **Alle befragten Elektrolyseurbetreiber planen Trocknung und Sauerstoffentfernung** unmittelbar an Erzeugung anzuschließen
- **PSA** sind in Planungen bisher **nicht berücksichtigt**

- Aktuell sind nach **Elektrolyse** nur **geringfügige Verunreinigungen** erwartet
- Erfahrungen aus dem Betrieb von Pilotanlagen fehlen aber noch

2

Ammoniak-cracking



- Verwendung ölfreier Verdichter

- Sicherer **Ausschluss von Verunreinigungen durch KWS** aus Mitriss von Schmiermitteln

- Von befragten Projekten **teilweise bereits berücksichtigt**

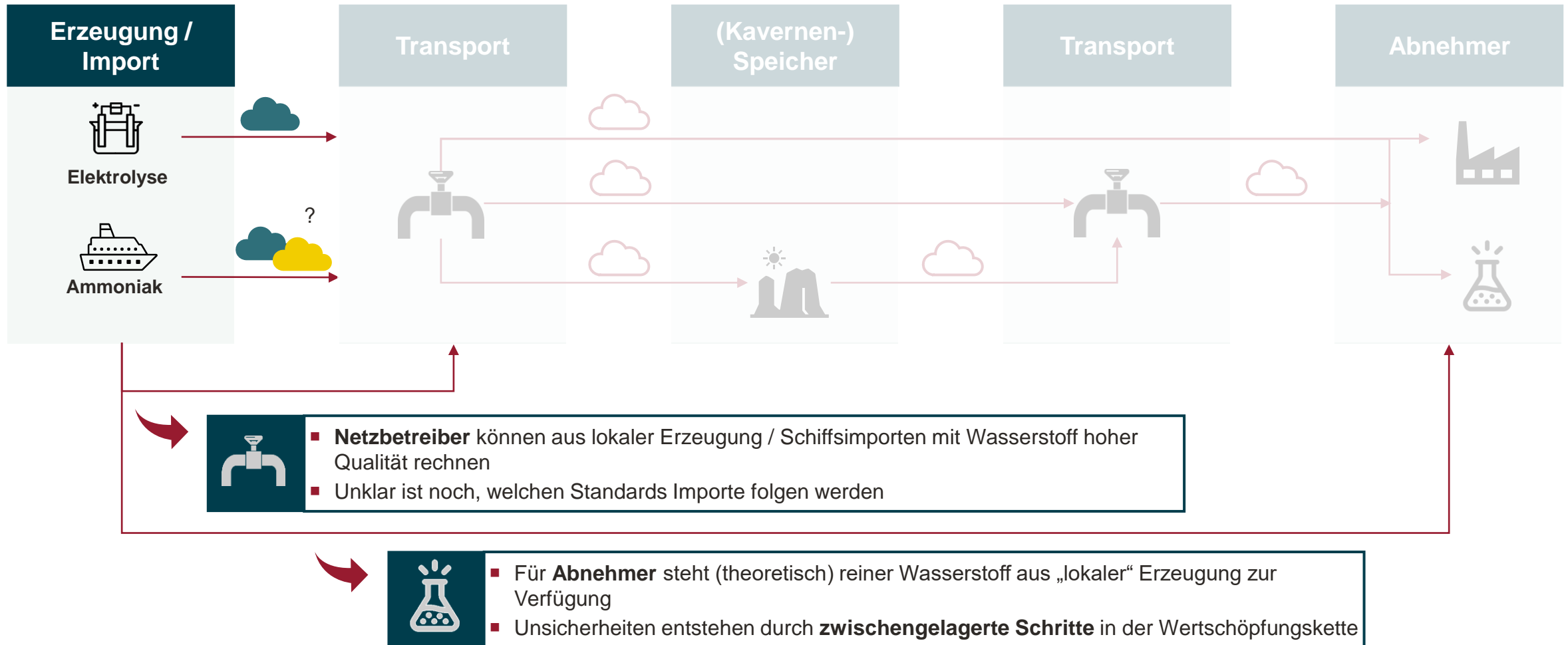
- PSA
- Trocknung

- **Entfernung des unvermeidbaren Stickstoffanteils** nach Ammoniakcracking
- Entfernung von **Ammoniakrückständen**
- Entfernung von **Wasserrückständen**

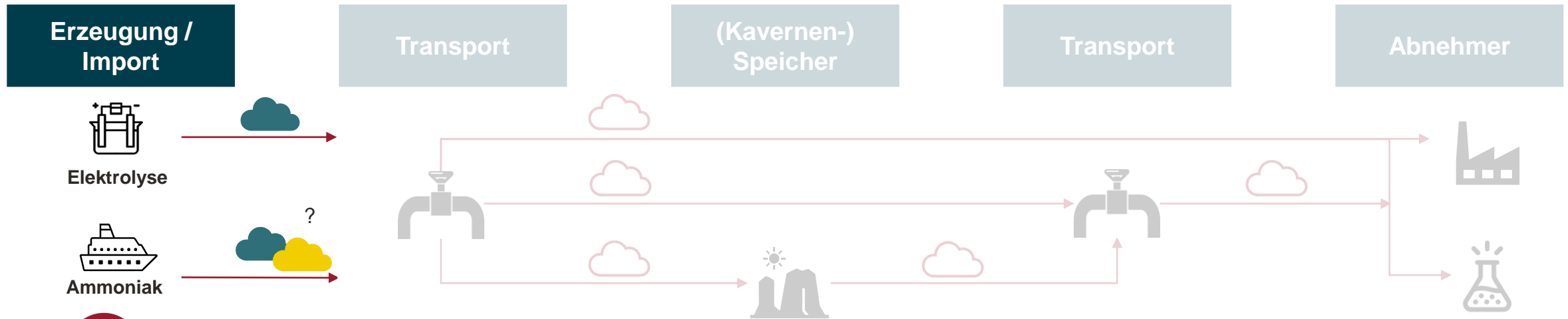
- PSA bei befragten Unternehmen **integrierter Teil der Anlage**, bei der der Tailgasstrom im Cracker verwendet werden kann
- Trocknung grundsätzlich geplant

- Verunreinigungen nach Cracking kommt andere Rolle zu, auch diese können aber **minimiert** werden

A Aus der Reinheit des eingespeisten Wasserstoffs ergeben sich keine unmittelbaren Wechselwirkungen mit folgenden Wertschöpfungsstufen



A Erzeuger sehen die Einspeisung ins Netz als klaren Endpunkt ihrer Verantwortung

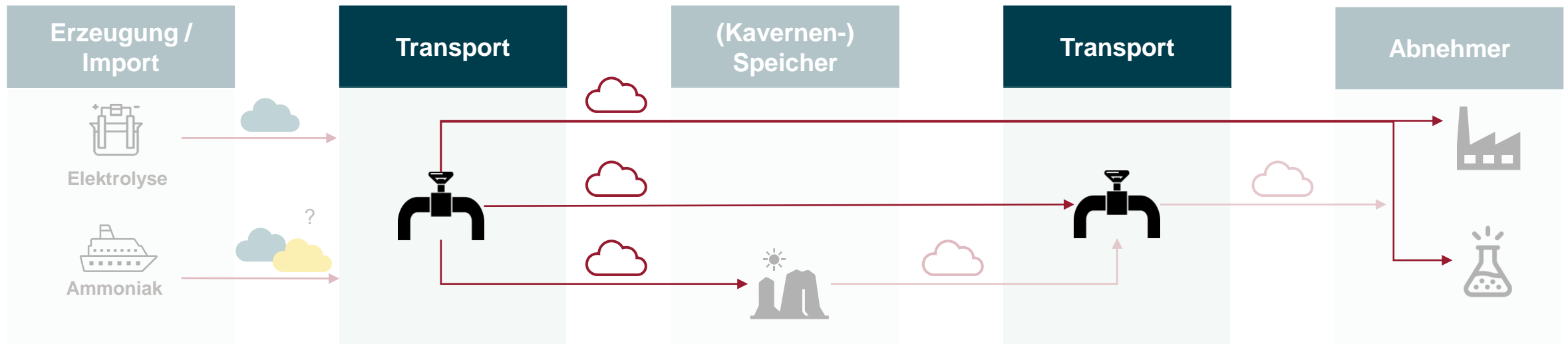


- Befragte Erzeuger sehen den **Einspeisepunkt** in ein (größeres) Netz klar als **Endpunkt ihrer Verantwortung**.
- An diesem Punkt liegt die **Mindestqualität** (Stand jetzt) **bei Grade A**, die befragte Erzeuger auch als „**Fallback Option**“ sehen, sollten (zum aktuellen Zeitpunkt) unerwartete Verunreinigungen auftreten.
- Kund:innen werden zum aktuellen Zeitpunkt **keine** (besonders reinen) **Qualitäten zugesichert**.
- In einzelnen der berücksichtigten Projekten gibt es, insbesondere im Hochlauf, ein „**Einvernehmen**“ zwischen den Projektbeteiligten, **dass Wasserstoff hoher Qualität eingespeist wird** und entsprechend nicht unmittelbar eine Aufreinigung auf Anwenderseite notwendig ist.
(Die Anwendungsseite wurde dabei bisher nicht eigenständig erfasst, sodass die konkreten Implikationen hier noch nicht betrachtet wurden.)

Agenda

#		Seite
1	Executive Summary	3
2	Hintergrund	6
3	Wasserstoffreinheit - Erzeugung	18
4	Wasserstoffreinheit - Transport	25
5	Wasserstoffreinheit - Speicher	33
6	Implikationen für das Gesamtsystem	40
7	Nächste Schritte	44

B Transport



B Transport: Kernergebnisse



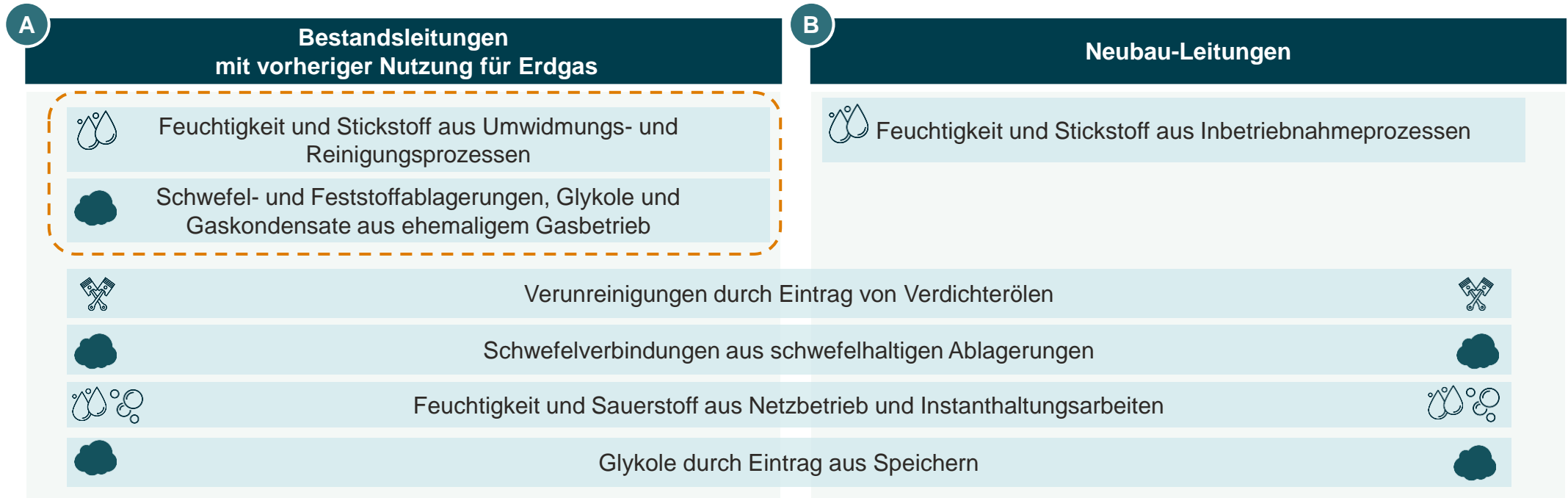
- Verunreinigungen durch Transport **unterscheiden sich zwischen neuen und umgewidmeten Leitungen.**
 - für **neue** Leitungen kurzfristig **eine hohe Qualität haltbar** (Grade D)
 - In umgewidmeten Leitungen werden kurzfristig stärkere Verunreinigungen erwartet, **mittel- bis langfristig kann eine mittlere Qualität gehalten werden**, die über die aktuelle Grade A hinausgeht.



- Langfristig kann im **Transportnetz eine Qualität >A (aber < D)** erreicht werden.




B Insbesondere bei Bestandsleitungen werden Qualitätsveränderungen durch den Transport erwartet

- Kurzfristig ist vor allem bei **umgewidmeten Leitungen** mit **Verunreinigungen aus ehemaligem Erdgasbetrieb** zu rechnen, abhängig von Alter und vorheriger Nutzung.
- Mittel- bis langfristig werden diese abnehmen – einige **Verunreinigungen können jedoch auch langfristig nicht komplett eliminiert werden.**



- Aufbau des H₂ Netzes wird von Befragten als langfristiger, iterativer Prozess erwartet, in dem immer wieder Leitungsabschnitte ergänzt werden.
- Auch langfristig sind damit durch neue Umwidmungen bei Integration in das Gesamtsystem Verunreinigungen möglich.

B Zusätzliche Aufbereitungsmaßnahmen können die Qualität verbessern, aber nicht alle Verunreinigungen verhindern

	Maßnahmen	Wirkung	Aktuell geplant?	
Anpassung der Einspeisung  Nur Bestandsleitungen	<ul style="list-style-type: none"> Verwendung von ölfreien Verdichtern 	<ul style="list-style-type: none"> Vermeidung Ölmitriss aus Verdichtungsprozessen Im Vergleich zu herkömmlichen Kolbenverdichtern kostenintensiver 	<p>Keine festen Pläne seitens befragter Unternehmen</p>	<p>Aktuell nur langfristige und sequenzielle Anpassung der Einspeisung möglich</p>
Vorbereitung der Pipelines 	<ul style="list-style-type: none"> Molchung Ultraschallmolchung Hydrocleaning Stickstoffspülung Wasserstoffspülung 	<ul style="list-style-type: none"> Entfernung von Verunreinigungen und Ablagerungen aus Gasbetrieb Aus Erfahrungswerten Zweifel, ob alle relevanten Verunreinigungen entfernbar Maßnahmen müssen wirtschaftlich abgewogen werden (Kosten / Nutzen); zusätzlicher Nutzen nicht handfest belegt 	<p>Molchung: Ja (Bestandsleitungen großteils molchbar)</p> <p>Andere Maßnahmen nur bedingt (nur vereinzelt bzw. in einzelnen Leitungsabschnitten)</p>	<p>Verunreinigungen durch Bestandspipelines können verringert, gerade im Spurenelementbereich aber nicht vermieden werden</p>
Aufreinigung an der Ausspeisestelle 	<ul style="list-style-type: none"> z.B. mehrstufige Adsorptionsreinigung Trocknung Sauerstoffentfernung PSA 	<ul style="list-style-type: none"> Entfernung von durch Transport entstandene Verunreinigungen (z.B. mehrstufige Adsorptionsreinigung) 	<p>Aktuell höchstens dezentral und nur für Abnehmer mit hohen Qualitätsansprüchen oder nur in lokalen Netzen</p>	<p>Keine pauschale Zusicherung von hoher Qualität geplant</p>

B Die Zuteilung der Verantwortlichkeiten für zusätzliche Aufreinigung ist wird als abhängig von der Anzahl der Nachfrager eingeschätzt

Mit aktuellem Technologiestand in einem integrierten Gesamtnetz höchstens mittlere Qualität erreichbar

Mögliche Verantwortlichkeiten für Qualität bei Abnehmern mit höheren Anforderungen

Dezentrale Aufreinigung in Verantwortung von Abnehmern

- **Vereinzelte Abnehmer mit hohen Qualitätsansprüchen** (z.B. Petrochemie) führen **eigene Aufreinigung** durch
- Keine zusätzlichen Aufreinigungsmaßnahmen durch Netzbetreiber

Dezentrale Aufreinigung als Dienstleistung des Netzbetreibers

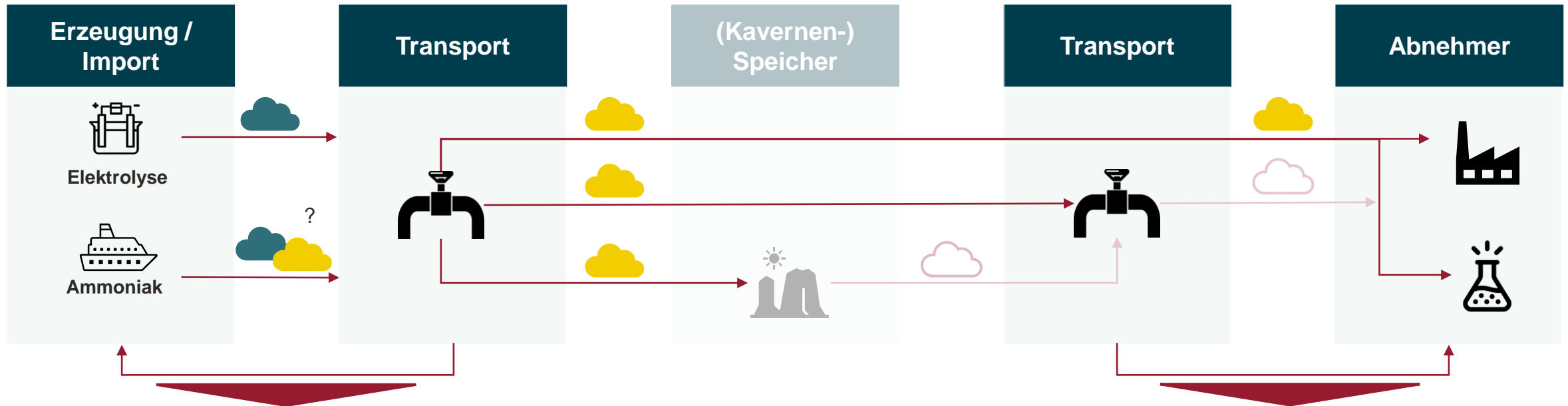
- **Bereitstellung von Aufreinigungsprozessen** für Abnehmer mit höheren Qualitätsansprüchen
- Als **Zusatzleistung für Entgelt** oder in Verantwortung des Netzbetreibers

Kleine Netzabschnitte in hoher Qualität

- In **kleineren Netzabschnitten** mit sehr **vielen Abnehmern mit hohen Qualitätsansprüchen** Aufrechterhaltung hoher Qualität denkbar

Anzahl Abnehmer mit hohen Qualitätsansprüchen 

B Mit aktuellem Technologiestand ist in einem integrierten Gesamtnetz höchstens mittlere Qualität erreichbar



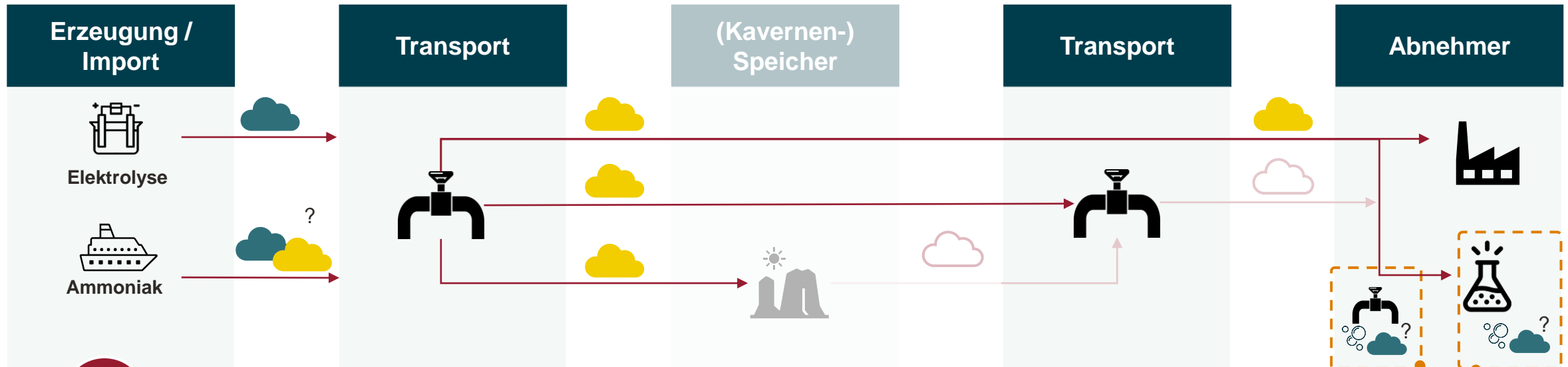
Implikationen für Erzeuger

- Aus lokaler Erzeugung mit großer Wahrscheinlichkeit (sehr) hohe Qualität erreichbar
- Wenn hohe Qualität im Netz nicht gehalten werden kann geringe Incentivierung für zusätzliche Aufreinigungsschritte um hohe Qualität zu halten auf Erzeugungsseite
- Definition von „diskriminierungsfreiem Zugang“ noch unklar

Implikationen für Abnehmer

- Abnehmer, die Wasserstoff **energetisch** verwenden, sind nicht qualitätssensibel (z.B. Stahlindustrie), daher **voraussichtlich mit mittlerer Qualität zufrieden**
- Abnehmer mit **chemischen** Wasserstoffprozessen (z.B. Petrochemie) **benötigen nach aktuellem Kenntnisstand zusätzliche Aufreinigung**

B Standards für Verantwortlichkeiten und Zugang müssen noch final festgelegt werden



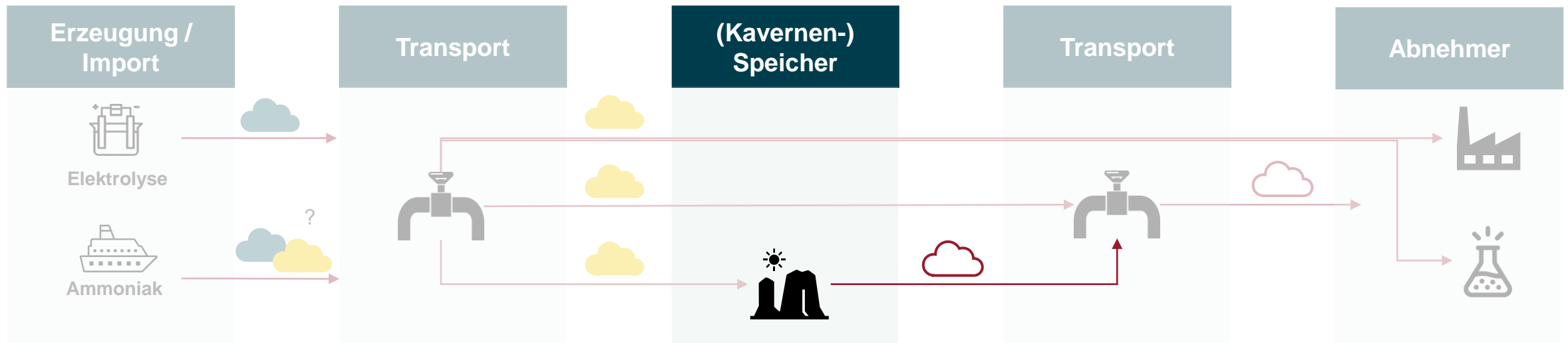
- Schon jetzt ist klar, dass Netzbetreiber **diskriminierungsfreier Zugang zu Netzen** gewähren müssen – hier ist zu erwarten, dass dies auch **Wasserstoff unterschiedlicher Qualitäten** umfasst, solange sie Mindeststandards erfüllen
- Zum aktuellen Zeitpunkt liegt die **Mindestqualität bei Grade A** und entspricht in einem integrierten Netz der **maximalen Qualität, die Netzbetreiber ohne zusätzliche Aufreinigung von schon bei Einspeisung vorhandenen Verunreinigungen zusichern** können
- Die **Kontaminationen durch den Netzbetrieb selbst** sind nach **Einschätzung der Befragten überschaubar** – hier ist noch unklar, ob und wie der **Einfluss des Transports geprüft und reguliert** sein wird (bspw. durch Messungen am Ein- und Ausspeisepunkt)

Verantwortlichkeit für **Aufreinigung auf höhere Qualitäten** langfristig noch **unklar und abhängig von Nachfragesituation**

Agenda

#		Seite
1	Executive Summary	3
2	Hintergrund	6
3	Wasserstoffreinheit - Erzeugung	18
4	Wasserstoffreinheit - Transport	25
5	Wasserstoffreinheit - Speicher	33
6	Implikationen für das Gesamtsystem	40
7	Nächste Schritte	44

C Speicherung



C Speicher: Kernergebnisse



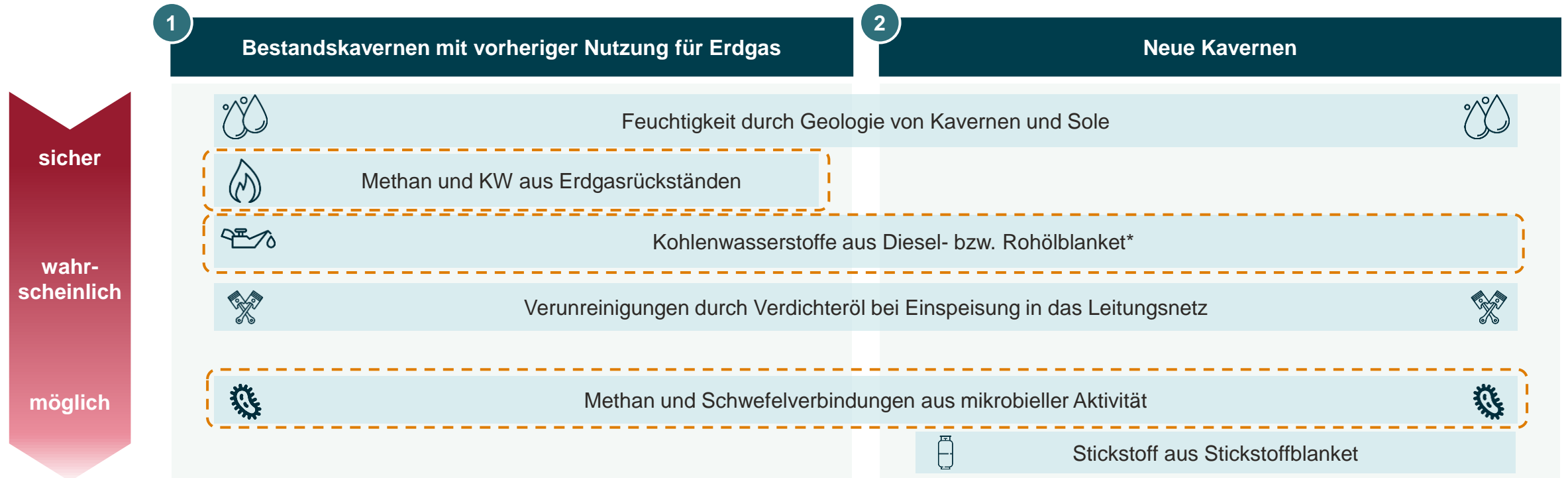
- Aus Speicherung werden **signifikante Verunreinigungen erwartet**; bei Einspeicherung von Grade A ist der ausgespeicherte Wasserstoff voraussichtlich unter Grade A
- Weiterer **Analysebedarf** besteht bzgl. **erreichbarer Grenzwerte einzelner Verunreinigungen**.



- Eine Aufreinigung zurück auf Grade A wird von den Befragten als umsetzbar eingeschätzt und in bisherigen Planungen berücksichtigt; **höhere Qualitäten sind jedoch mit signifikantem Mehraufwand und großer Unsicherheit** verbunden.

Erwartete Verunreinigungen aus der Speicherung sind für Bestandskavernen und neue Kavernen relevant

Laut aktuellem Wissens- und Technologiestand **wird eine Speicherung in Kavernen zu Verunreinigungen führen – eine vorherige Nutzung für Erdgas beeinflusst das Ausmaß, ist aber nicht alleinig für Verunreinigungen verantwortlich**



- Langfristig kann die Qualität auch von der Erstbefüllung der Speicher abhängig sein, da die entsprechende Befüllung als Kissengas möglicherweise im Speicher verbleibt



Laut Befragten besonders kosten- und energieintensive Entfernung

C Aus Speichersicht ist ein Standard über Grade A aktuell nicht wirtschaftlich sinnvoll umsetzbar

1

Bestandskavernen mit vorheriger Nutzung für Erdgas

2

Neue Kavernen

Vorbereitung der Kaverne

- Spülung der Kaverne nach Erdgasbetrieb in jedem Fall nötig, um Erdgasreste zu entfernen
- Spülung mit Wasser möglich

! Entfernung aller Nutzungsspuren technisch nicht vollständig möglich

- Solung unter Berücksichtigung möglicher Qualitätsbeeinträchtigungen
- Aufbereitung ggf. mit Stickstoffblanket

Porenspeicher möglicherweise mit zusätzlichen Hindernissen aufgrund **Mischungsproblematik** und **höherer Reaktionsbereitschaft**

Befüllung mit Kissengas* (bestimmt zusätzliche Verunreinigungen abhängig von Qualität des zuerst eingespeisten Wasserstoffs)

Aufreinigung Wasserstoff nach Speicherung

A

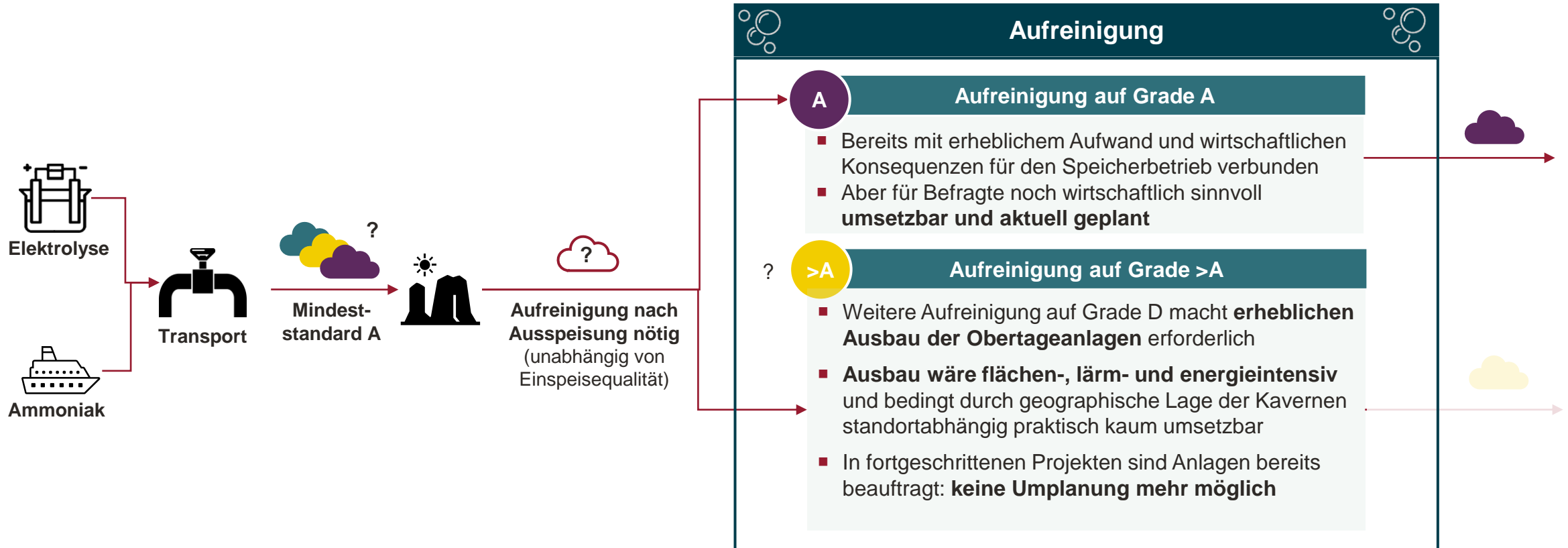
Für Grade A ist **Aufreinigung nach der Speicherung nötig** (min. Trocknung, Entschwefelung, Kohlenwasserstoffentfernung) und durch Befragte **geplant**
Hohe Volumina machen erhebliche Anlagengrößen erforderlich, Umsetzbarkeit trotzdem gegeben

>A

Über Grade A hinaus **flächen-, und energieintensive zusätzliche Aufreinigung** erforderlich (PSA), die zusätzlich durch **Umweltschutzvorgaben** (bspw. bzgl. Tailgastreatment) eingeschränkt / behindert wird.
Die konkreten Implikationen hängen dabei von den **expliziten Grenzwerten einzelner Stoffe** ab.

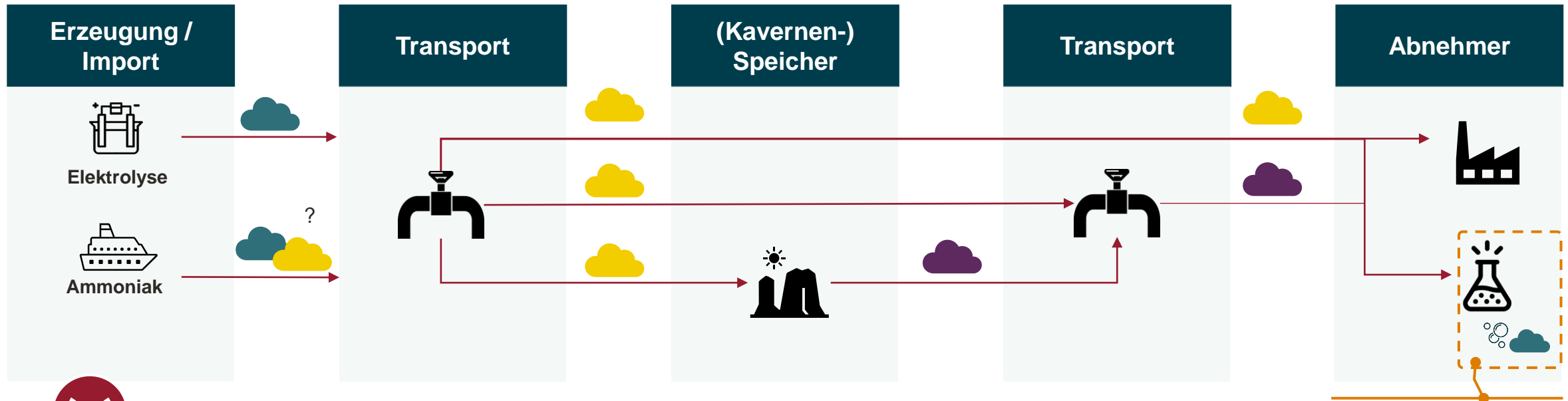
! Einige Speicherprojekte bereits weit fortgeschritten und dadurch **ausgiebige Umplanung sehr herausfordernd**

C Die Speicherung von Wasserstoff würde aktuell die Qualität für das Wasserstoff-Gesamtnetz bestimmen



Von befragten Speicherbetreibern kann **keine höhere Qualität als Grade A** zugesichert werden, unabhängig von Einspeisequalität (System-**“Bottleneck“**)

C Aus Speichersicht ist ein Gesamtnetz mit hoher Wasserstoffqualität mit unproportional hohem Aufwand verbunden



- Speicher stellen **Grade A als Mindestanforderung an den eingespeisten Wasserstoff**, rechnen aber auch nicht mit höheren Qualitäten.
- **Ausspeicherung von Grade A ist zugesichert**, darüber hinaus Verantwortlichkeit aus Speichersicht bei Verbrauchern.
- Abweichungen hiervon im fortgeschrittenen Projektstadium **technisch und finanziell nicht mehr umsetzbar**, bei weiteren Veränderungen wird die Planung zur Umwidmung von Speichern möglicherweise abgebrochen.
- Angesichts der hohen Volumina, die den Speicher passieren werden und dem damit verbundenen Aufwand im Vergleich zu den Anforderungen auf Anwendungsseite ist die **Aufreinigung des gesamten Netzes auf höhere Qualität aus Sicht der Speicherbetreiber unangemessen**.

Aus Speichersicht Verantwortung für zusätzliche Aufreinigung besser bei **Abnehmern** mit Ansprüchen über Grade A platziert.

Agenda

#		Seite
1	Executive Summary	3
2	Hintergrund	6
3	Wasserstoffreinheit - Erzeugung	18
4	Wasserstoffreinheit - Transport	25
5	Wasserstoffreinheit - Speicher	33
6	Implikationen für das Gesamtsystem	40
7	Nächste Schritte	44

Die Sichtweise auf das Thema Wasserstoffqualität unterscheidet sich stark zwischen den verschiedenen Wertschöpfungsstufen



Erzeugung

Elektrolyse kann voraussichtlich **ohne großen Aufwand eine hohe Qualität** erreichen (Grade D)

Zu **Ammoniakcracking** bestehen insgesamt noch **höhere Unsicherheiten**, aber eine **Qualität >A ist realistisch erreichbar**



Transport

Kurzfristig kann in einzelnen **Punkt zu Punkt** Verbindungen in neuen Leitungen eine **hohe Qualität** gehalten werden

Je stärker der Grad der **Integration** eines Netzsystems wird, desto **schwieriger wird es, Kontaminationen zu vermeiden**

Eine **Qualität >A ist** wird nach **aktuellem Stand als erreichbar** eingeschätzt



Speicher

Verunreinigungen durch die Speicherung, die die Gesamtqualität unter Grade A drücken sind laut Befragten **unvermeidbar** (Spurenkomponenten).

Aufreinigung bis auf **Qualität A ist umsetzbar** – darüber hinaus gehende Qualitäten sind mit **signifikantem Aufwand und großer Unsicherheit** verbunden. Standortabhängig können höhere Reinheiten unter Umständen praktisch **nicht implementiert werden**.

Die Einschränkungen der Speicher stellen damit aktuell den **System-Bottleneck** dar



- In allen Wertschöpfungsstufen beruhen Ergebnisse auf Laborauswertungen und ersten Tests
- Aus dem Betrieb von Pilotanlagen und ersten kommerziellen Projekten werden neue Erkenntnisse erwartet

Unterschiedliche Projekte kommen damit im ersten Schritt zu unterschiedlichen Ansätzen

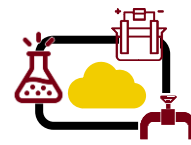
Abhängig von den **Rahmenbedingungen**, in denen einzelne Projekte agieren, haben sich unterschiedliche Ansätze im Hinblick auf die Wasserstoffqualität etabliert

1 Hohe Qualität ausgehend von ersten Anwendungen



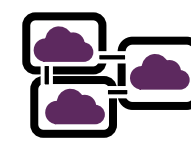
Bei Versorgung durch Elektrolyse in einem lokalen Netz setzen einige Projekte kurzfristig einen hohen Standard um

2 Festlegung „eigener“ Qualität



Anpassung der existierenden Qualitätsstandards bzgl. einzelner Schwellenwerte

3 Niedrige Qualität in Erwartung des zukünftigen Gesamtsystems



Vertragliche Zusicherung einer nur niedrigen Qualität

Hintergründe

- Alle möglichen, und insbesondere erste große Abnehmer können bedient werden
- Perspektivische Reduktion der Netzqualität wird als einfach umsetzbar eingeschätzt

- Sicherstellung technischer Umsetzbarkeit für Teilnehmer der Wertschöpfungskette und gleichzeitig
- Sicherstellung der Verwendbarkeit für relevante Anwender

- Unsicherheiten bei zukünftiger Qualität, z.B. durch Importe
- Wirtschaftliche Abwägungen, keine langfristig nicht haltbaren Ansätze zu verfolgen

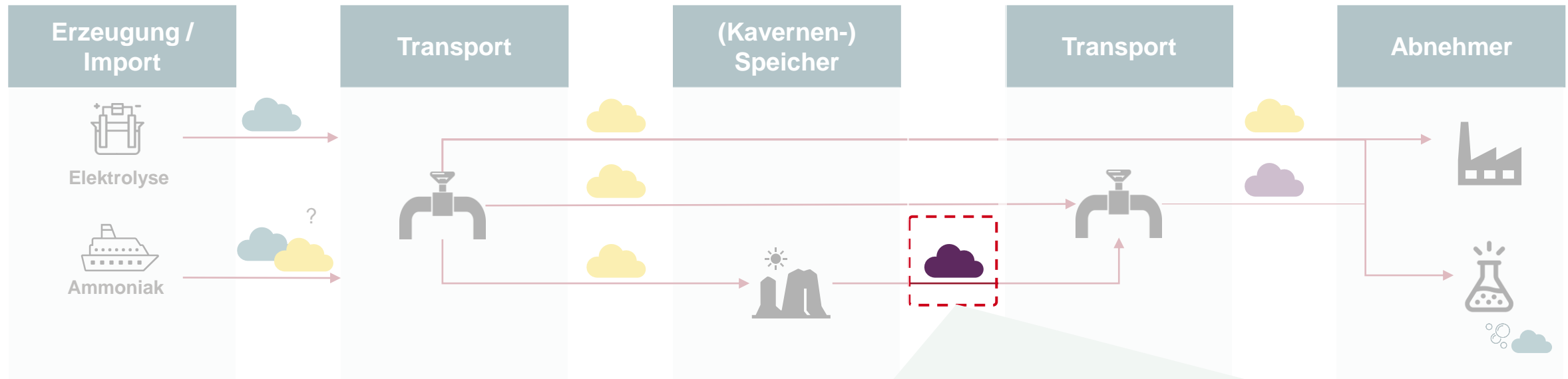
Mögliche Implikation für Kernnetz

- Bisher nur bei lokalen Netzen mit direkt geplanter Anbindung zwischen Elektrolyseur und Abnehmern
- Noch nicht mit Einbindung von Speichern umgesetzt

- Individuelle Absprachen im Gesamtnetz komplex und schwer umzusetzen
- Noch nicht mit Einbindung von Speichern umgesetzt

- Zusätzliche Aufreinigung für Abnehmer mit höheren Ansprüchen nötig
- Unsicherheiten bei Verantwortlichkeiten und individueller Umsetzbarkeit

Die maximale Wasserstoffqualität wird durch die Wertschöpfungsstufe mit dem größten Aufreinigungsaufwand bestimmt



- (Hohe) Wasserstoffqualitäten sind für **verschiedene Stufen der Wertschöpfungskette unterschiedlich zu bewerten**.
- Neben der **technischen Machbarkeit** müssen auch **praktische Aspekte sowie die wirtschaftliche Umsetzbarkeit** berücksichtigt werden.
- Die **höchstmögliche Qualität**, die von der Stufe mit **den größten Herausforderungen** umsetzbar ist, bestimmt damit die für das Gesamtsystem **maximal zu erreichende Qualität**.
- Dabei muss nicht zwingend gelten, dass dies auch die für das Gesamtsystem **optimale Qualität** ist.



Die optimale Qualität des Gesamtsystems ist das Ergebnis einer ökonomischen Optimierung, gegeben der technischen Rahmenbedingungen

Agenda

#		Seite
1	Executive Summary	3
2	Hintergrund	6
3	Wasserstoffreinheit - Erzeugung	18
4	Wasserstoffreinheit - Transport	25
5	Wasserstoffreinheit - Speicher	33
6	Implikationen für das Gesamtsystem	40
7	Nächste Schritte	44

Auf Basis der Studienergebnisse können im Anschluss Fragestellungen vertieft und weitere wichtige Themenfelder untersucht werden



Diskussion einzelner Grenzwerte

- Um die optimale Qualität für das Gesamtsystem zu etablieren, sollte der **Fokus weg von Diskussionen um bestehende Qualitätsniveaus (Grade A und D) und hin zu Untersuchungen von Grenzwerten für einzelne Verunreinigungen**
 - Welche Grenzwerte für welche Verunreinigungs-komponenten sind für Teilnehmer der Wertschöpfungskette umsetzbar?



Perspektive der Abnehmer

- Teilnehmende der aktuellen Studie haben **unterschiedliche Ansprüche verschiedener Abnehmer** betont, welche sich insbesondere auf Schwellenwerte einzelner Verunreinigungen beziehen
 - Für welche Verwendungszwecke sind welche Verunreinigungen kritisch? Ist eine dezentrale Aufreinigung denkbar?
 - Wie hoch ist der Anteil der Abnehmer, die mit einer „mittleren Qualität“ umgehen könnten?



Herausforderungen der Speicherbetreiber

- In der Studie konnten **Speicher** als das voraussichtlich bindende Element der Wertschöpfungskette identifiziert werden
 - Worin genau bestehen die Herausforderungen, höhere Qualitäten zu erreichen? (Verunreinigungen, Technologien)
 - Welche Herangehensweise gibt es hier international?



Internationale Perspektive

- In der perspektivischen Entwicklung spielt die **Qualität und Herkunft zukünftiger Importe** voraussichtlich eine große Rolle
 - Welche Qualität ist aus welchem Ursprung und Transportweg zu erwarten - bspw. durch ATR, LOHC oder LH₂ Importe?
 - Welchen Einfluss haben die Diskussionen in den Niederlanden?
 - Welche Wechselwirkungen sind zwischen nationaler und internationaler (europäischer) Regulierung zu erwarten?



Wirtschaftliche Überlegungen

- Die **Wirtschaftlichkeit** der geplanten Projekte bestimmt auch die Diskussion der umsetzbaren Wasserstoffqualität im Gesamtnetz
 - Was sind die zusätzlichen Kosten für die Erhöhung der Netzqualität von einer niedrigen zu einer mittleren Qualität?
 - Welche potenziellen Aufreinigungsprozesse sind am kosteneffektivsten?



Frontier Economics Ltd ist Teil des Frontier Economics Netzwerks, welches aus zwei unabhängigen Firmen in Europa (Frontier Economics Ltd) und Australien (Frontier Economics Pty Ltd) besteht. Beide Firmen sind in unabhängigem Besitz und Management, und rechtliche Verpflichtungen einer Firma erlegen keine Verpflichtungen auf die andere Firma des Netzwerks. Alle im hier vorliegenden Dokument geäußerten Meinungen sind die Meinungen von Frontier Economics Ltd.