



Komplexität navigieren: Rahmenkonzept einer praxisnahen QS-Plattform mit Expertenabsicherung zur Bankfähigkeit künftiger Ertragsprognosen

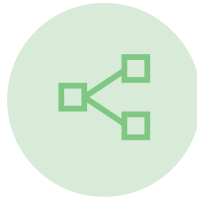
(Früh-Konzeption auf Basis internationaler Projekterfahrung)

Okan Sargin – Senior Spezialist | Ingenieur okan.sargin@orangewind.io
2025-11-07 Revision 2a,
Windenergietage 2025, Potsdam

Agenda



EINFÜHRUNG



1. KONTEXT UND
HERAUSFORDERUNGEN
IN DER
QUALITÄTSSICHERUNG



2. NORMENWANDEL



3. EIN BEISPIEL FÜR
EIN NEUARTIGES QS-
KONZEPT



AUSWIRKUNGEN UND
NÄCHSTE SCHRITTE

*auf Basis internationaler Projekterfahrung - viel
Fokus auf Offshore (7-8 Jahre) + eventuell
weniger relevant für Onshore Projekte in DE.*

Agenda

In dieser Präsentation geht es nicht um :

Marktreife Lösung / Produkt oder Dienstleistungen

In dieser Präsentation geht es um :

Feedback und Diskussion (gerne können sie ähnliches Konzept selber entwickeln – oder Lessons-Learned teilen falls sie damit bereits Erfahrungen gesammelt haben)

Was Sie bekommen :

Ein QA-Konzept, das auf Erkenntnissen aus internationaler Projektarbeit (technische Beratung) basiert. Open-Source Ideen!

Erwünscht:

Feedback zu diesem Konzeptentwurf

Optional:



Interessenbekundung: Teilnahme als Testnutzer für einen Demo-Case (vors. Anfang März). Bitte geben Sie bei Ihrer Anmeldung 'Windenergiesymposium' in der Betreffzeile an.

Komplexität navigieren: Rahmenkonzept einer praxisnahen QA-Plattform mit Expertenabsicherung zur Bankfähigkeit künftiger Ertragsprognosen

Vorstellung

Aktuelle Position und Hintergrund



W-MA
Fraunhofer IWES
(Teilzeit)
&
Senior Spezialist |
Ingenieur (**Orangewind**)



Arbeitserfahrung im Land



Erfahrung

Ausbildung & Zertifizierungen:

2024: MIT Professional Certificate in Strategic Technology Roadmapping and Innovation.
2022: M.Sc. in Wind Energy Systems von der Universität Kassel.
2006: M.A. Tontechnik, MIAM, Technische Universität Istanbul.
2003: B.Eng. in Maschinenbau von der Technischen Universität Istanbul.

2006–2015: Grundlegende Erfahrungen

Beginn der Karriere als Projektingenieur mit Erfahrungen in den Bereichen Windprojektentwicklung und Ressourcenbewertung, CFD und Messkampagnen bei Unternehmen wie Tasyapi Energy Group, Lahmeyer International und Abo Wind AG.

2015–2021: Spezialisierung, Teamleitung

Vertiefung der Fachkenntnisse in den Bereichen Onshore-/Offshore-Energieertragsbewertung und technische Due Diligence bei Wood und Guidehouse. Leitung des europäischen Windanalyse-Teams bei Guidehouse.

2021–2025: Führung, Innovation und Forschung

Als Leiter des Bereichs Wind & Standort bei OWC den Servicebereich von Grund auf zu einem Team von 10 Analysten aufgebaut. Teilzeitforschung am Fraunhofer IWES zur Unterstützung der IEA Task 52. Solopreneur bei der Orangewind GmbH (OWnD) mit Schwerpunkt auf unabhängigen, digital gesteuerten B2B-Windenergie-Dienstleistungen.



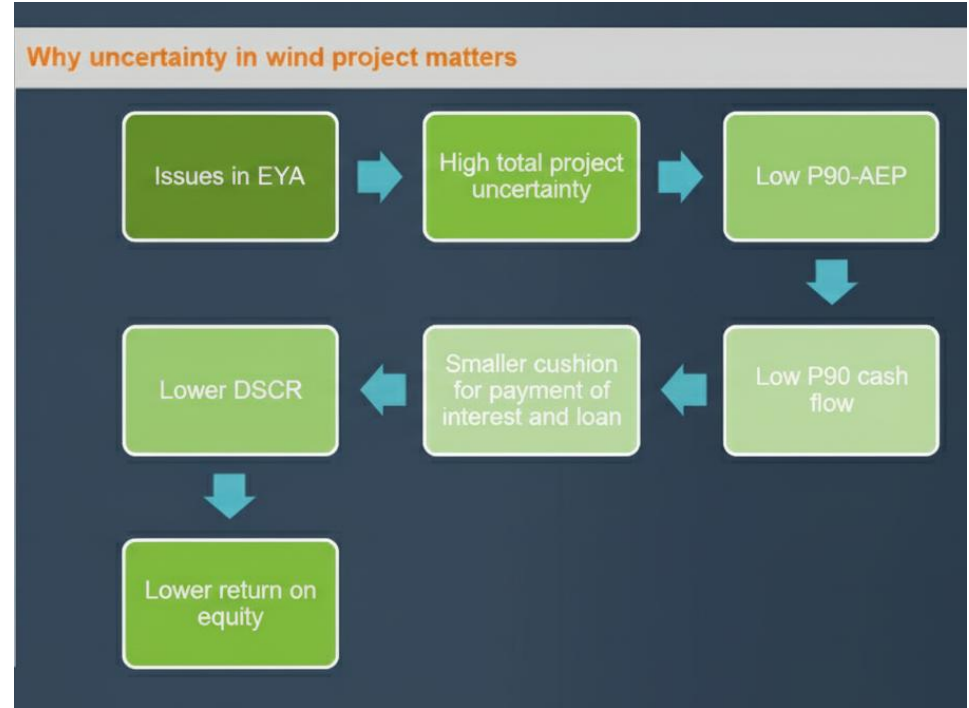
Teil 1

KONTEXT UND HERAUSFORDERUNGEN IN
DER QUALITÄTSSICHERUNG

Der Kontext: Es geht um Vertrauen & Bankfähigkeit

Warum brauchen wir robuste EYA und geringe Unsicherheit?

- „Bankfähigkeit“ & Vertrauen
- Transparente und nachvollziehbare Entscheidungen
- Schuldendienstdeckungsgrad
- Niedrigere Projektfinanzierungskosten



Der Kontext: Sicherung der Projektfinanzierung unter der minimalsten Unsicherheit

2. Frage: Rolle des QMS

-  verbesserter Kapitalwert und günstigere Finanzierungen
-  Transparente, nachvollziehbare Entscheidungen
-  Schnelle und vertrauenswürdige Lieferung und Beschleunigung der Due Diligence
-  Innovation und Risikominderung bei Windprojekten

Komplexität navigieren: Rahmenkonzept einer praxisnahen QA-Plattform mit Expertenabsicherung zur Bankfähigkeit künftiger Ertragsprognosen

Standortbegutachtung: Früher und Jetzt (internationaler Fokus)

	Früher	Komplexität	Jetzt Zukunft
Teamgröße 	100%		<50% 
Toolset 	2/3 Engineering-Software + interne Tools		Größeres Toolset: Engineering-Software, Open-Source-Repositories, SaaS, interne Toolkits, optimierte QA-Lösungen 
Dienstleistungsangebot 	One-stop-shop		Engineering hub / Systemintegrator 
Teamfähigkeiten 	Physiker, Geographen		Multidisziplinär, Atmosphärenwissenschaften, Datenwissenschaft, Ingenieurwesen 
Normen 	61400-12-1 Technische Richtlinien, TR6, Measnet		+ 61400-15, 61400-50-1 bis 4 und mehr... 

Kontext und Herausforderungen bei Ertragsgutachten

Herausforderungen bei der QMS-Implementierung

- Strenge Akkreditierungs- und andere Anforderungen an das Managementsystem
- Geringes Budget, schnelle Lieferzeiten, praktisches Lernen, daher weniger Zeit für die Befolgung von QMS.
- 100+ Prüfpunkte in einer WRA- und EYA-Checkliste
- Inkonsistenzen in den Normen (nicht nahtlos – manchmal mehrdeutig)
- Komplexes Toolset, typische Anzahl von Tools: 20+ interne Tools, 3+ Engineering-Suites, 5+ Wake-Modelle, 3+ Flow-Modelle.
- Komplexes Zusammenspiel von Standards, Qualitätsmanagement-Handbuch, Senior Expert Urteil, Tools/Software, neueste Forschungs- und QS-Checkliste, Review- und Autorisierungsmatrix, Kompetenzmatrix, Delegation von Befugnissen und Review-/Qualitätssicherungsprozessen, Dokumentation von Mitarbeiterschulungen.
- Versionierung, Dokument-Management
- Schulungen, Personalfluktuation

Pflege des QMS / Audits

Table of contents

Introduction

General information

Other results

Audit findings and compliance status

Conclusions

Next audit

Annex A - Auditor statements

Annex B - Handling of findings

Kontext und Herausforderungen bei Ertragsgutachten

Projektspezifische technische Herausforderungen

Herausforderung (Ertragsgutachten)	Gegenmaßnahmen
Messungen an nicht repräsentativen Standorten	<i>Multiskalenmodellierung, richtige Quantifizierung von Unsicherheiten</i>
Komplexe Zukunftsszenarien für benachbarte WPs	<i>Zeitvariable Wake-Szenarien mit automatisierten Tools</i>
Fehlende Messkampagne	<i>Rahmen für die Validierung in der Frühphase</i>
Herausforderungen bei der Nachlaufmodellierung	<i>Ensemble- und Highfidelity-Modellierung</i>
Komplexes Windklima	<i>Maßgeschneiderte mesoskalige und mehrskalige Modellierung</i>

Und einige andere Beispiele:

Insel-Wakes

LLJs

Repräsentativität des langfristigen Zeitraums (Klimawandel)

EYA in komplexem Gelände (Forstwirtschaft)

Cluster-Wakes (2000+ WTs)

Verstärkte (rechtliche) Prüfung der Angemessenheit von Wake-Modellen

Coriolis-Effekt

Metoccean-Ausrichtung, Beispiel: einheitliche WRF

15+ Schnittstellen während der Due Diligence (echte Projektherausforderungen)

Zunehmende Komplexität in Forschungsfragen

Der Automatisierungsprozess muss/kann sich weiterentwickeln, um mehr Vertrauen aufzubauen und die Transparenz für die Stakeholder zu erhöhen.



Teil 2

NORMENWANDEL

Digitalisierung und Automatisierung von Energieertragsgutachten: Chancen und Herausforderungen

Sich entwickelnde Normen - seit 2017

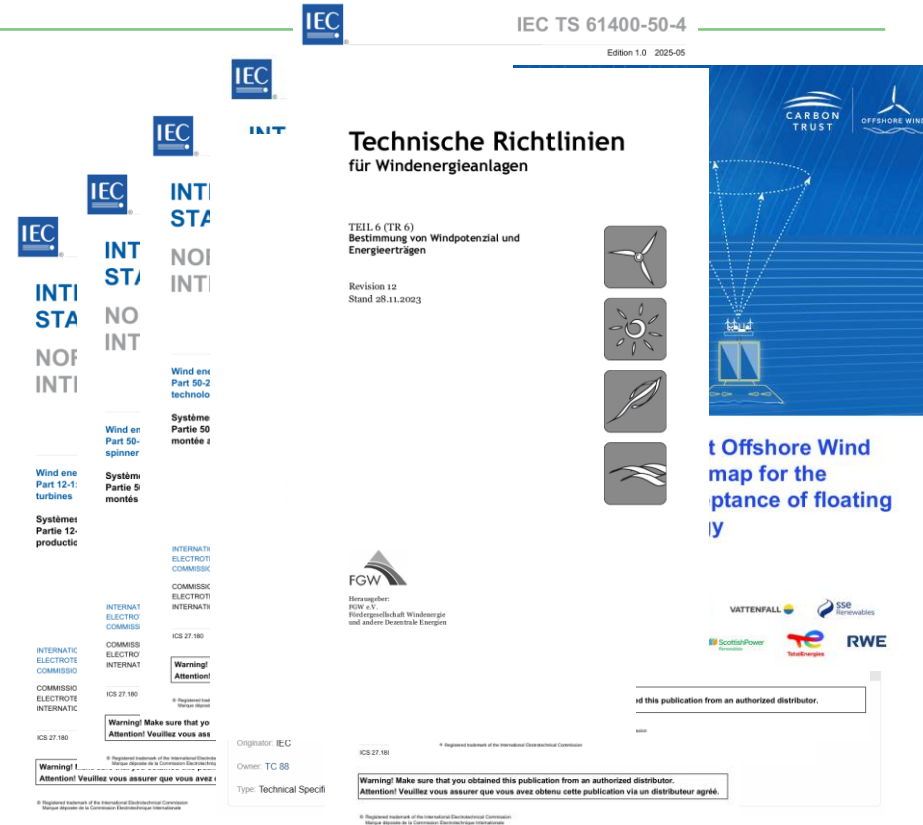
Die Herausforderung: Inkonsistente Frameworks

- Beispiel: die aktuelle IEC 61400-50-Serie
- widersprüchliche Terminologie und Methoden
- Ggf. Pauschalisierung der Messunsicherheiten

Kernziel: Harmonisierung und Konsistenz

- Konsistenz und Vollständigkeit

„Unsicherheitsschätzungen sollten die tatsächlichen Leistungsunterschiede zwischen den Messtechnologien widerspiegeln, um faire und genaue Vergleiche zu ermöglichen“
Quelle: P. Clive



Digitalisierung und Automatisierung von Energieertragsgutachten: Chancen und Herausforderungen

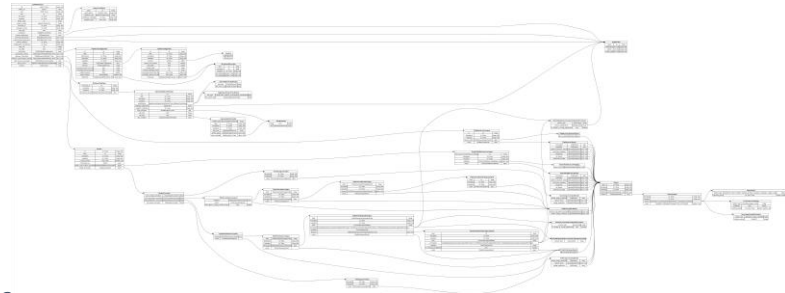
Normenwandel – EYA DEF

IEC 61400-15-2 EYA DEF

IEC 61400-15-2 führt ein Digital Exchange Format (DEF) ein
Ergänzung des Ertragsgutachtens.

Vorteile:

- Open-Source
- Standardisierung
- JSON-Schema-Nutzung
- Laden in Modelle
- Teilen mit Stakeholdern



Digitalisierung und Automatisierung von Energieertragsgutachten: Chancen und Herausforderungen

Normenwandel – wissenschaftliche Diskussionen

Herausforderungen in der EYA-Prozesskette aus akademischer Perspektive (Diskussion)

- Verifikation (von schwimmenden Lidar-Systemen) in größeren Höhen
- TI-Korrektur in Lidar-Systemen
- Einfluss der Umgebungsparameter (des Seegangs auf unterschiedliche Bedingungen)
- Was ist Messung und was ist ein Modell?

WeDoWind



Eine Open-Innovation-Community, die sich auf die Beschleunigung von Lösungen für die Windenergie konzentriert, indem sie Industrie, Wissenschaft und Interessengruppen zusammenbringt, um neue Ansätze gemeinsam zu validieren.

Bietet eine digitale Plattform, auf der die Teilnehmer Datensätze, Modelle und Ergebnisse transparent austauschen können, um die Reproduzierbarkeit und schnelle Skalierung von Innovationen zu fördern.

Findable, Accessible, Interoperable, Reusable (FAIR Data): ein Rahmenwerk, das sicherstellt, dass Forschungsdaten leicht entdeckt, plattformübergreifend genutzt und in zukünftige Arbeiten integriert werden können.

Fördert maschinell verwertbare Metadaten und standardisierte Formate und ermöglicht so eine langfristige Wertschöpfung aus Datensätzen, die über ihren ursprünglichen Kontext hinausgehen.



Teil 3

Beispiel für ein neuartiges QS-Konzept

Komplexität navigieren: Rahmenkonzept einer praxisnahen QA-Plattform mit Expertenabsicherung zur Bankfähigkeit künftiger Ertragsprognosen

Beispiel für ein neuartiges QS-Konzept

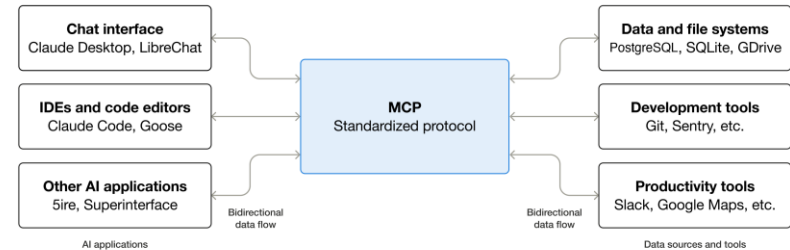
Neue Möglichkeiten durch KI?

Zweck: Ein Open-Source-Standard für die Anbindung von KI-Anwendungen an externe Systeme.

Funktionalität: Ermöglicht KI-Anwendungen den Zugriff auf Datenquellen, Tools und Workflows.

Analogie: Verglichen mit einem USB-C-Anschluss für KI-Anwendungen, der eine standardisierte Verbindungsmethode bietet.

Model context protocol - MCP



Source: Anthropic

Beispiel für ein neuartiges QS-Konzept

Neues Konzept?

Können wir LLMs im QA-Prozess verwenden?

LLMs sagen nur das nächste Wort voraus und können keine Aktionen ausführen, aber sie sind mächtig.

Können wir Modellkontextprotokoll mit Expertenschutzmaßnahmen nutzen, um den QA-Prozess mit einem strukturierten Protokoll für intelligente QA effizient zu gestalten?

- Model Context Protocol (MCP)
→ definiert den Kontext für jeden EYA-Schritt
- Nutzung eines maschinenlesbaren, von Experten kuratierten JSON-Schemas.
- Codiert alle Eingaben, Annahmen und Methodenverweise

Konzept für automatisierte und/oder manuelle Prozesse

LLM-Herausforderung

Potenzielle Lösung durch MCP

Unvollständiger oder undokumentierter Kontext

Erzwingt Vollständigkeit mit Pflichtfeldern

Verwirrung oder Inkonsistenz

Standardisiert Annahmen + Begründungen

Mangelnde Nachvollziehbarkeit

Generiert automatisch einen Prüfpfad mit Versionierung

LLM-Halluzinationen oder Fehlinterpretationen

Begründung LLM nur mit strukturierter, verifizierter Eingabe

Beispiel für ein neuartiges QS-Konzept

Einführung von MCP und was es für uns tun kann?

Data Source	Purpose
Interne Datenbanken	Pull-validierte Eingaben (z. B. SCADA-Metadaten, Turbinenspezifikationen, GIS-Layer, Benchmark-Verlustzahlen)
Frühere Projektberichte	Abrufen und Versionieren früherer MCP JSON + QA-Ergebnisse, um Vergleiche, Wiederverwendung von Vorlagen oder Validierung zu ermöglichen
Korrespondenz-Repositorien	Extrahieren Sie Expertenfeedback (aus E-Mails, Teams, CRM), um Entscheidungen, Warnungen und Außerkraftsetzungen zu erkennen
Simulations-Engine / APIs	Ausführen einer On-Demand-Modellvalidierung oder zusammenfassender Statistiken als Teil der MCP-Validierung
Dokumenten-Repositorien	Anhängen von Quelldateien an Schemafelder über persistente URIs
KI-Speicherschicht	Lassen Sie den LLM auf Zusammenfassungen oder Zitate aus vertrauenswürdigen internen Ausgaben zugreifen und kennzeichnen Sie Inkonsistenzen

Beispiel für ein neuartiges QS-Konzept

Entwurf



Standardisierte Eingaben

Sammeln von Eingaben (Messmast, Lidar), Modellparametrisierung, Analyseentscheidungen, Zuordnung zum QMS-Schema



ML / LLM-Einsatz

Einspeisen von Daten in ML-Modelle; LLM bietet Kontext unter Verwendung von Modellkontextprotokollen, die auf EYA zugeschnitten sind



Sicherheitsvorkehrungen von Experten

Senior Analysten prüfen Empfehlungen, sehen Benchmarks, überschreiben Entscheidungen auf der Grundlage projektspezifischer Anforderungen oder Domänenwissen



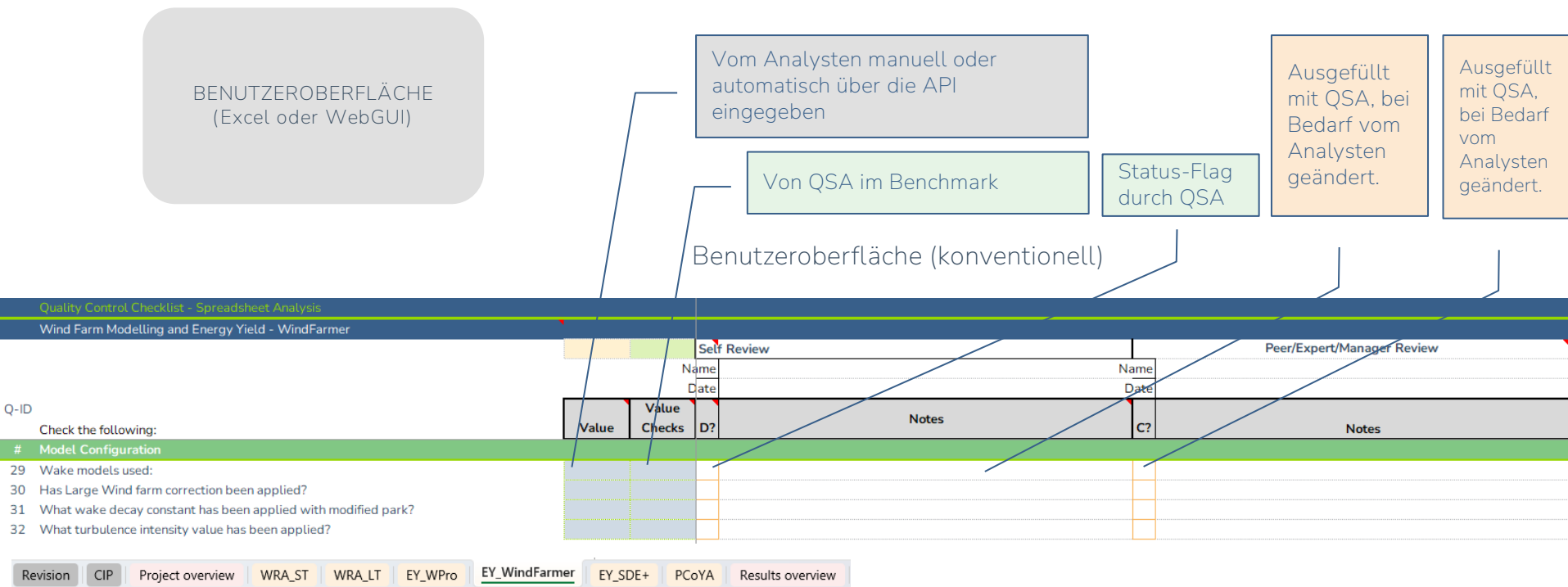
Robuster und schneller Prozess

Entscheidungen, die über ein benutzerfreundliches Dashboard/eine Checkliste verfolgt werden, aber in einem maschinenlesbaren Format (JSON) erfasst werden; Gründe & Referenzen anhängen

Optimierung der Projektfinanzierung

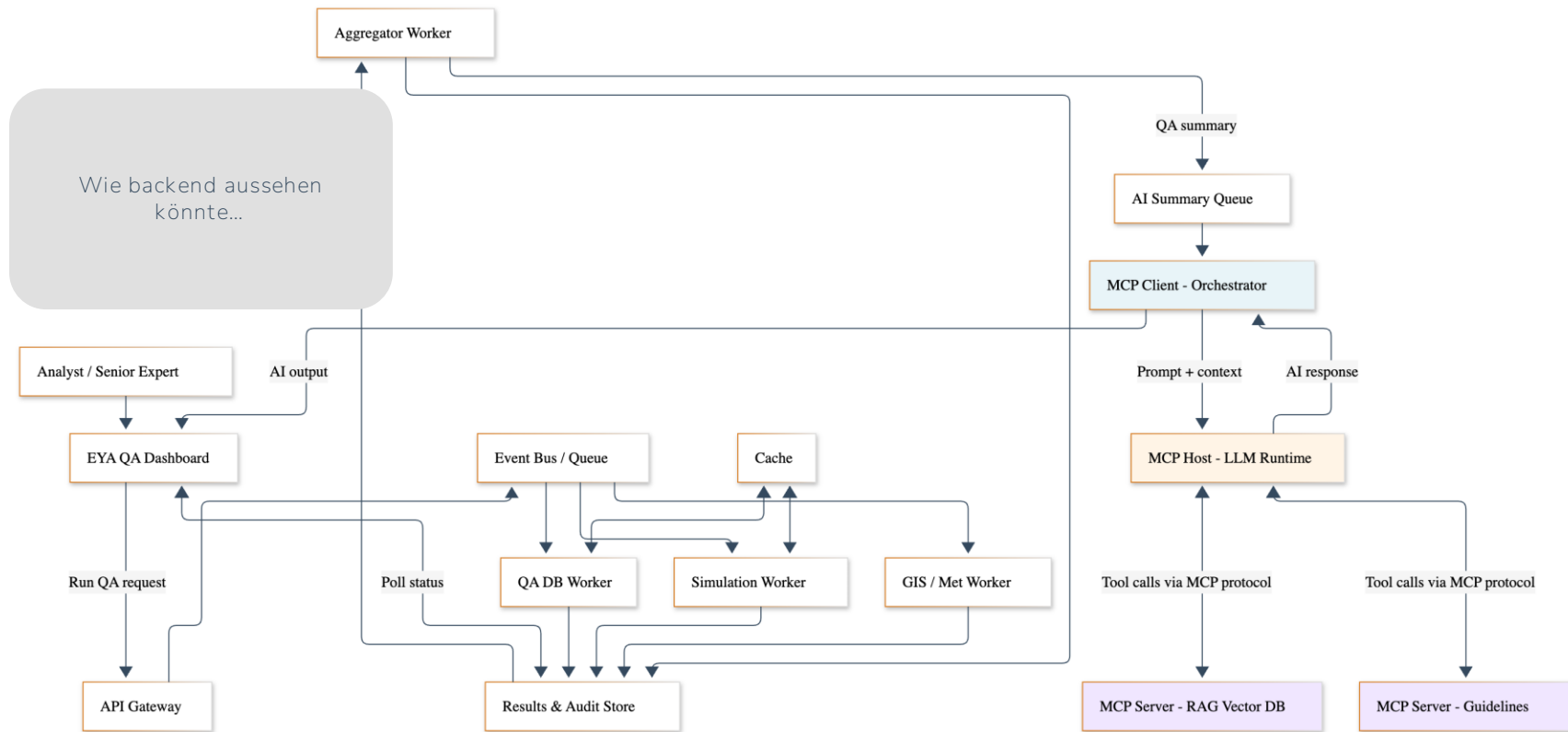
Komplexität navigieren: Rahmenkonzept einer praxisnahen QA-Plattform mit Expertenabsicherung zur Bankfähigkeit künftiger Ertragsprognosen

Beispiel für ein neuartiges QS-Konzept



Komplexität navigieren: Rahmenkonzept einer praxisnahen QA-Plattform mit Expertenabsicherung zur Bankfähigkeit künftiger Ertragsprognosen

Beispiel für ein neuartiges QS-Konzept



Beispiel für ein neuartiges QS-Konzept

Fiktive Anwendungsbeispiele

1. Kontextsensitiver Autovergleich

Auslöser	: Neue Offshore-Layout-Ergebnisse werden in die QA-Checkliste (passiv oder automatisch) eingetragen (QSA realisiert).
Aktion	: Der QSA ruft Ergebnisse von ähnlichen "High-Wake-Risk"-Projekten aus den letzten 3 Jahren ab.
Ausgabe	: QSA meldet Wakeverluste 1,5 % unter dem internen Bereich und bittet um Begründung.

2. Rückmeldung durch Experten (Chance für Software-OEMs)

Auslöser	: Analyst wählt Verdrängungshöhe von 14 m
Aktion	: QSA scannt frühere Einträge zur Verdrängungshöhe, Projektergebnisse und verknüpfte E-Mails mit dem Betreff "Verdrängungshöhe,,
Ausgabe	: QSA stellt eine Zusammenfassung von Präzedenzfällen und Gutachternotizen zusammen

3. Internal Benchmark Plug-in

Auslöser	: Der Analyst/Prüfer fordert die Validierung der Bruttoertragsprognose an.
Aktion	: QSA ruft interne Funktion auf: <code>get_average_gross_yield (site_class="C", metocean="Nordsee")</code>
Ausgabe	: QSA überprüft die vorhergesagte AEP auf Plausibilität.

Komplexität navigieren: Rahmenkonzept einer praxisnahen QA-Plattform mit Expertenabsicherung zur Bankfähigkeit künftiger Ertragsprognosen

Beispiel für ein neuartiges QS-Konzept

RAG vs MCP und Zusammenarbeit

- RAG ist das "WAS": Das Muster/die Strategie, externes Wissen abzurufen, um eine Antwort zu verbessern.
- MCP ist das "WIE": Ein potenzielles *Protokoll*, das die Kommunikationsverbindung zwischen dem LLM und der Wissensdatenbank (dem "Retrieve"-Schritt) standardisiert.
- Mit RAG *könnte* man MCP als standardisierten Weg nutzen, um seine "Retrieve"-Komponente (z.B. eine Vektordatenbank) anzusprechen. Sie sind **komplementäre Werkzeuge**, die auf unterschiedlichen Ebenen arbeiten.

Retrieval Augmented Generation vs Model Context Protocol

Merkmal	RAG (Retrieval-Augmented Generation)	MCP (Model Context Protocol)
Definition	Ein Architektur-Muster / Eine Technik zur Anreicherung von Prompts.	Ein offener Protokoll-Standard für die Kommunikation.
Abstraktionsebene	Muster: Beschreibt, was getan wird (Daten abrufen & anreichern).	Protokoll: Standardisiert, wie die Verbindung zu Tools/Daten erfolgt.
Ursprung	Ein weit verbreitetes, generisches KI-Konzept.	Ein offener Standard, initiiert von Anthropic (Community-getrieben).
Primärzweck	Reduzierung von Halluzinationen durch "frisches" Wissen.	Standardisierung der "Tool-Nutzung" (API-Aufrufe, Datenabfragen).
Beziehung	Komplementär. RAG ist ein Anwendungsfall; MCP kann das Protokoll sein, das RAG-Komponenten (z.B. die Datenbank) anbindet.	
Compliance/Audit	Hängt von der Implementierung der Daten-Pipeline ab.	Ist kein Merkmal des Protokolls selbst; hängt von der Implementierung der angebotenen Tools ab.

Beispiel für ein neuartiges QS-Konzept

Risiken und Herausforderungen eines „novel“ QS-Konzeptes

1. Strukturierte Eingaben beseitigen LLM-Schwächen nicht vollständig, daher Expertenleitplanke
 - Fehler in externen Dokumenten
 - Halluzinationen nicht nur durch fehlenden Kontext, sondern auch durch die Trainingsdaten des Modells
2. Herausforderungen in den Datenquellen, MCP-Struktur wird wahrscheinlich nicht alles abdecken.
3. Eine Überbetonung der Standardisierung, die für Konsistenz plädiert, aber Ressourcen erfordert, besteht die Gefahr, dass sie sehr schnell veraltet ist.
4. Implementierung, Schulung, LLM-Affinität für erfahrene Experten
5. Die Entwicklung und Pflege eines solchen automatisierten QS-Konzepts ist aus wirtschaftlichen Gründen möglicherweise schwierig.
6. Datensicherheit – Fragen der DSGVO/CCPA-Compliance
[gemildert durch: GDPR ansprechen via MCPs Datenschutzrichtlinien (z. B. keine Datenübertragung ohne Zustimmung)]

Wichtige (potenzielle) Vorteile

- Erzwingt Vollständigkeit und Konsistenz
- Transparent, revisionssicher
- Füttert den KI-Agenten mit verifizierten Informationen, über Ressourcen und Tools
- Expertenvalidierung – fördert auditierbare, biasreduzierte QS

Beispiel für ein neuartiges QS-Konzept



[Online-Feedback-Formular](#)

Schlussfolgerung

Fazit & Ausblick

Auswirkungen und nächste Schritte

Erreichbare Maßnahmen zur Verbesserung der Automatisierung und Qualitätssicherung

LOW HANGING FRUITS!

Bereinigen und strukturieren Sie Ihre proprietären Informationen

Stellen Sie Beziehungen zwischen QA-Checkliste und neuesten Standards her

Verwenden Sie vom Unternehmen bereitgestellte LLMs mit angemessenem Prompt Engineering

Idealerweise implementieren Sie eine relationale (oder Graph-) Datenbank für Metadaten

Nutzen Sie EYA-DEF.

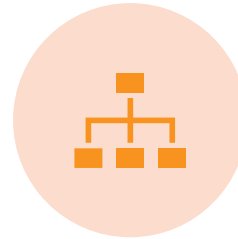
Kommunizieren Sie mit Ihren Kollegen und Software-Ingenieuren über Anwendungsfälle für die Automatisierung

Auswirkungen und nächste Schritte

Wichtige Erkenntnisse im Zusammenhang von Automatisierung



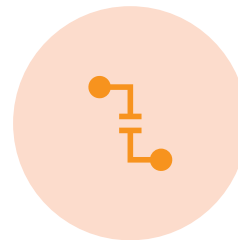
Projektspezifische
Komplexitäten sind schwer zu
automatisieren



QS-Systeme (automatisiert oder
manuell) sind unerlässlich



Eine automatisierte EYA-
Analyse ist unvermeidlich,
ähnlich wie die Notwendigkeit,
projektspezifische Fragen in einem
bestimmten zukünftigen Zeitpunkt des
Projekts zu verteidigen und zu
beantworten.



Automatisierung in der
Qualitätssicherung unter
fachkundiger Aufsicht erleichtert
den Übergang und verhindert, dass
sich die unterschiedlichen
Anforderungen im
Projektlebenszyklus vermischen.

Auswirkungen und Fragen für die nächsten Schritte

Potenzial

- Viele Lösungen bereits verfügbar
- Implementierung
- Akkreditierung
- MCP glänzt

Nächste Schritte (was wir brauchen)



Eine robuste Automatisierung, die neue IEC-Normen, Branchenerfahrung und akademische Fortschritte widerspiegelt, kann das Vertrauen der Kreditgeber stärken und den Prozess beschleunigen.



Maschinelles Lernen und LLMs können erheblich zur Analyse beitragen, erfordern jedoch fachkundige Schutzmaßnahmen.



Ein maschinenlesbares QS-Rahmenwerk erfasst alle Annahmen und Gründe und unterstützt sowohl automatisierte als auch manuelle Prozesse.

