



Universität Stuttgart

FoKUS – Kompetenzzentrum für Forschungsdatenmanagement
Institut für Aerodynamik und Gasdynamik

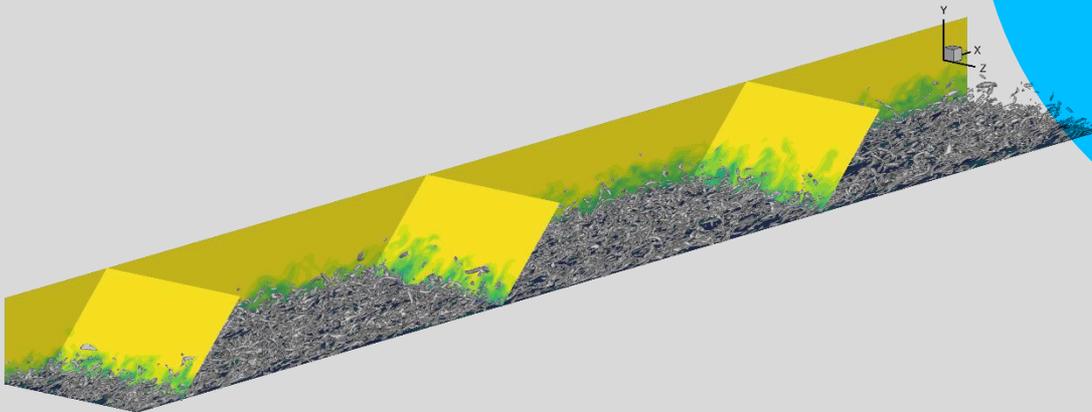


Forschungsdaten- management in der numerischen Strömungsmechanik

1. Sächsische FDM-Tagung
19. September 2019, Dresden

**Dorothea
Iglezakis**

**Björn
Selent**



Einführung – Anforderungen – Umsetzung – Zusammenfassung

Forschungsdatenmanagement

Kooperation und Austausch

- Gemeinsame Datenbasis
- Bessere Nachnutzung
- Kostensenkung (Industrie)

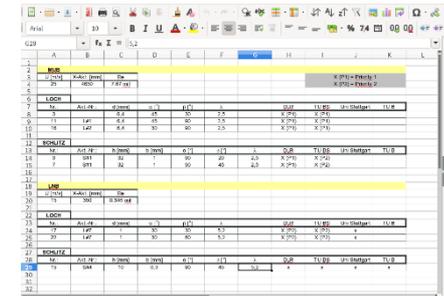
→ externe Wirkung



Strukturierung und Unterstützung

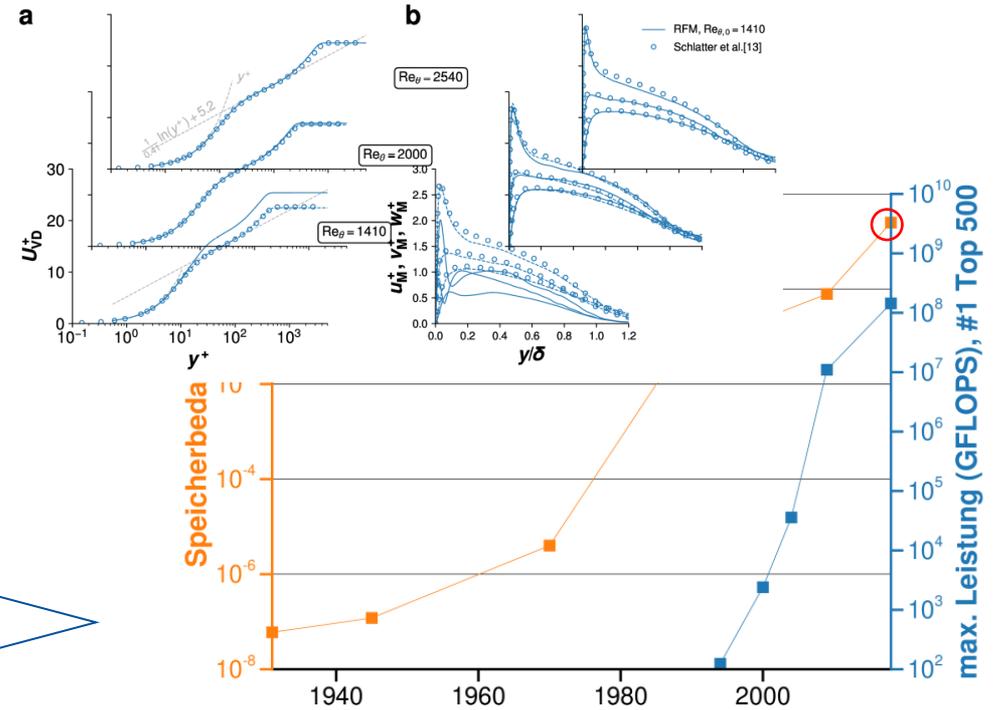
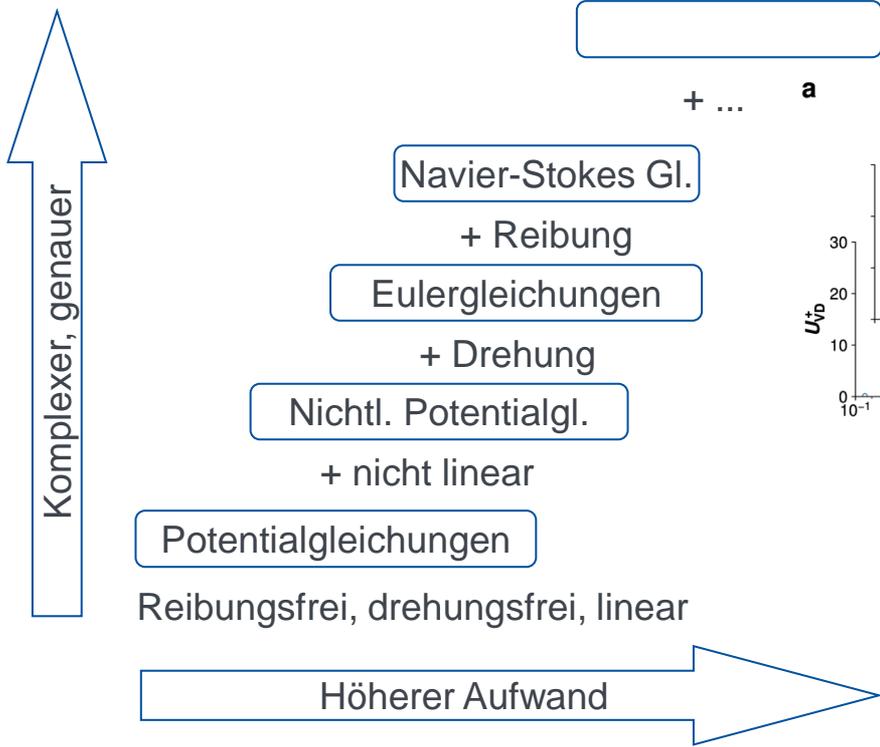
- Buchhaltung
- Vermeidung von Fehlern und Verlust
- Bessere Nachnutzung
- Entlastung

→ interne Wirkung



Einführung – Anforderungen – Umsetzung – Zusammenfassung

Exponentieller Anstieg an Leistung und Anforderung



Einführung – Anforderungen – Umsetzung – Zusammenfassung

Leistungssteigerung ermöglicht umfangreichere, aufwendigere Untersuchungen

Datenmenge

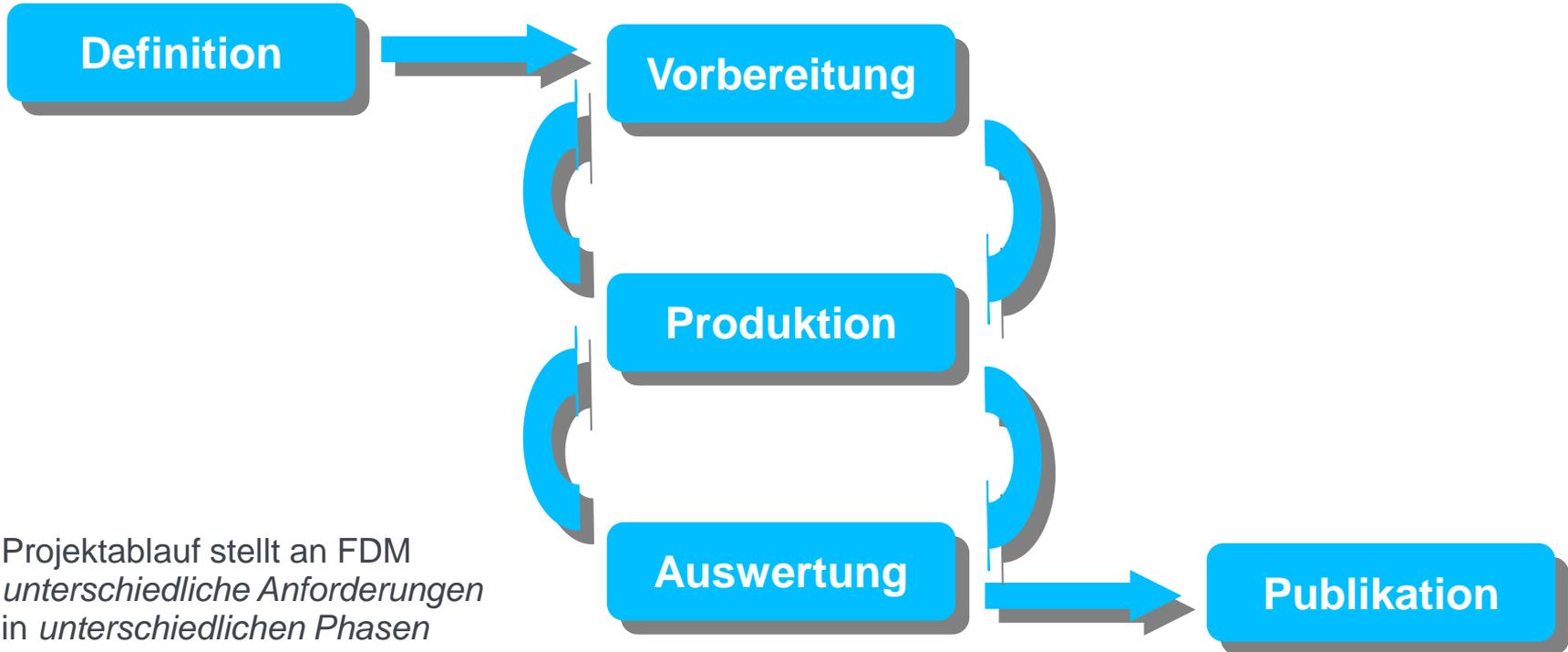
- Hardware(-infrastruktur)
- Pro Simulation $\sim O(\text{TB})$ – Big Data
- Kann oft nach Auswertung gelöscht werden
- Datenreduktion durch (verlustbehaftete) Kompression

Datenverwaltung

- Software(-infrastruktur)
- Großer Parameterraum
 - Randbedingungen
 - Betriebspunkte
 - Einflussgrößen
- Test- und Produktionssimulationen
- $\sim O(1000)$ Simulationen pro Projekt

Einführung – Anforderungen – Umsetzung – Zusammenfassung

Phasen eines Forschungsprojektes

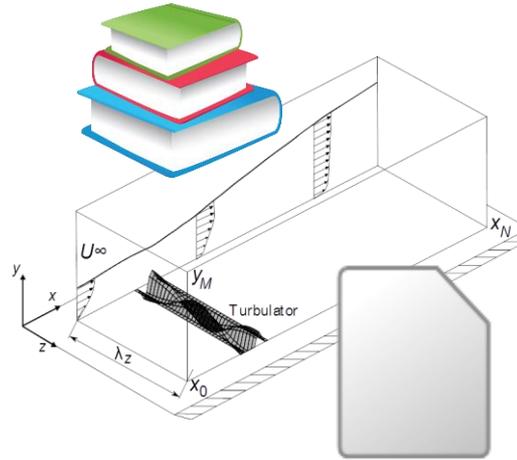


Projektablauf stellt an FDM
unterschiedliche Anforderungen
in *unterschiedlichen Phasen*

FDM soll *idealerweise* in allen Schritten
unterstützen ohne zusätzlichen Aufwand

Definition

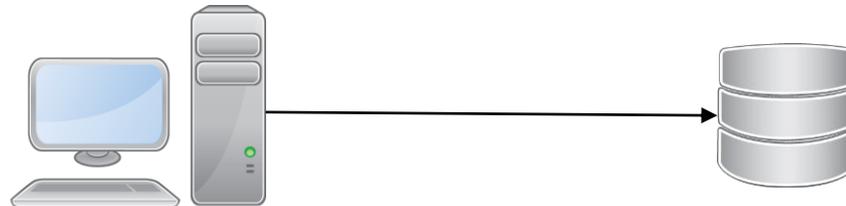
- Projekt
 - Fragestellung
 - Strukturen in der Turbulenz?
 - Modell für Randbedingungen?
 - Ausgangslage
 - Literaturliste
 - Prinzipieller Aufbau



Anforderungen ans FDM

Dokumentation von:

- Wiss. Fragestellung
- Aufbau
- Referenzen



Einführung – Anforderungen – Umsetzung – Zusammenfassung

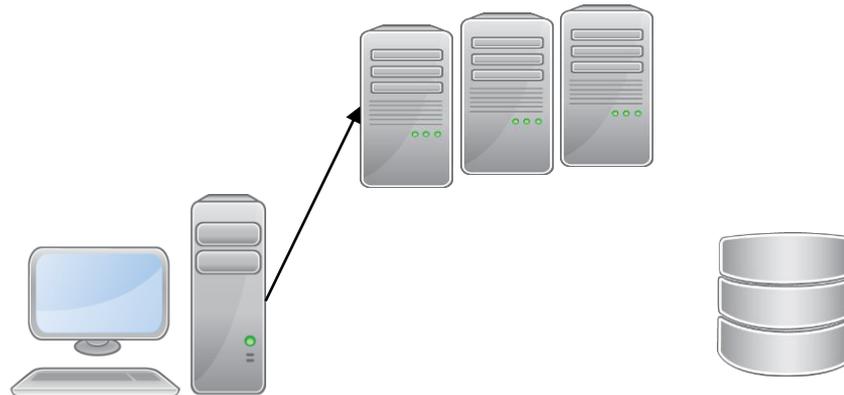
Beispiel: Direkte numerische Simulation einer turbulenten Grenzschichtströmung

Vorbereitung

- Projekt
 - Bestimmung
 - Gitter ($N=3^3$)

Art	Gitter								
	x			y			z		
	grob	mittel	fein	grob	mittel	fein	grob	mittel	fein
DNS	x			x			x		
	x			x				x	
	x			x					x
	x				x		x		
	x				x			x	
	x				x				x
	x					x	x		
	x					x		x	
	x					x			x

			x			x			x

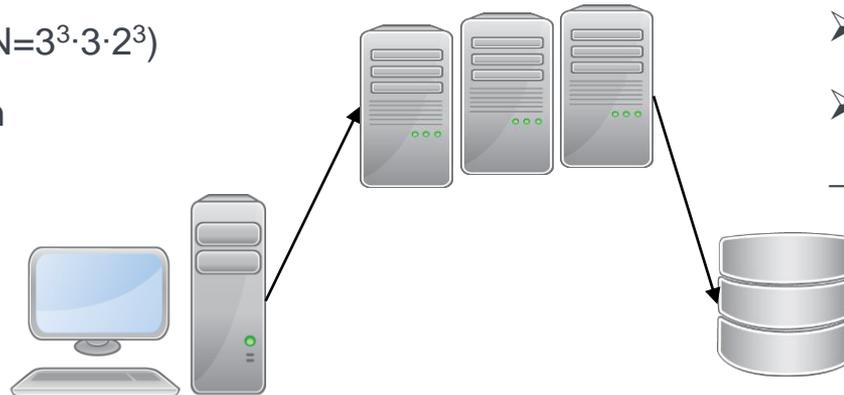


Einführung – Anforderungen – Umsetzung – Zusammenfassung

Beispiel: Direkte numerische Simulation einer turbulenten Grenzschichtströmung

Vorbereitung

- Projekt
 - Bestimmung
 - Gitter ($N=3^3$)
 - Randbedingung ($N=3^3 \cdot 3$)
 - Numer. Parameter ($N=3^3 \cdot 3 \cdot 2^3$)
- $O(10^3)$ Simulationen



Anforderungen ans FDM

Dokumentation von:

- Parametern
- Randbedingungen
- Gitter
- Erfolg

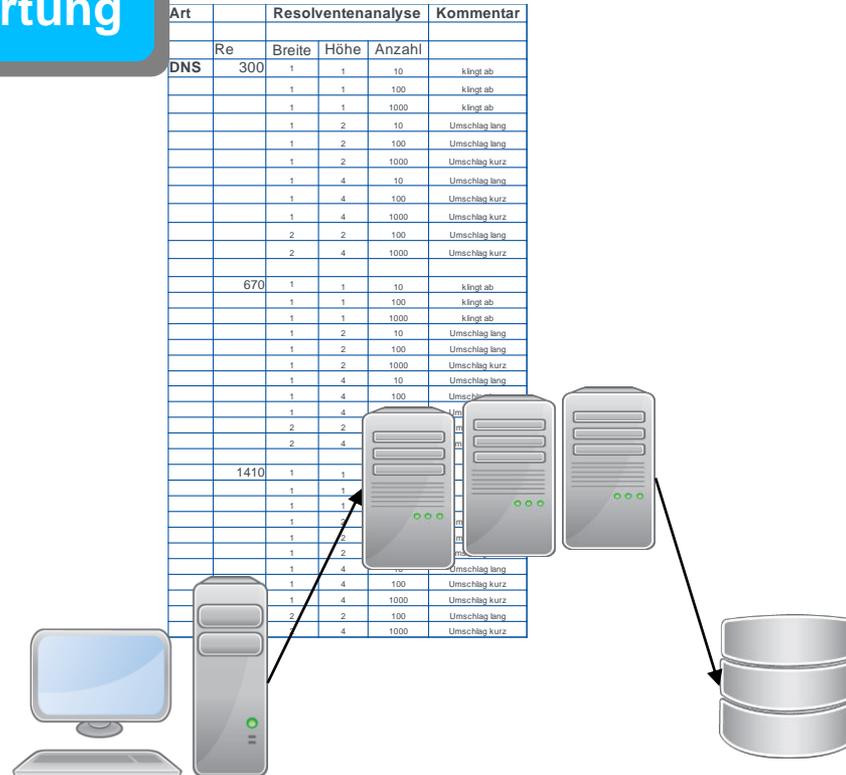
→ *automatische Erfassung*

Einführung – Anforderungen – Umsetzung – Zusammenfassung

Beispiel: Direkte numerische Simulation einer turbulenten Grenzschichtströmung

Produktion/Auswertung

- Projekt
 - Erstellung
 - $O(10^2)$ Simulationen

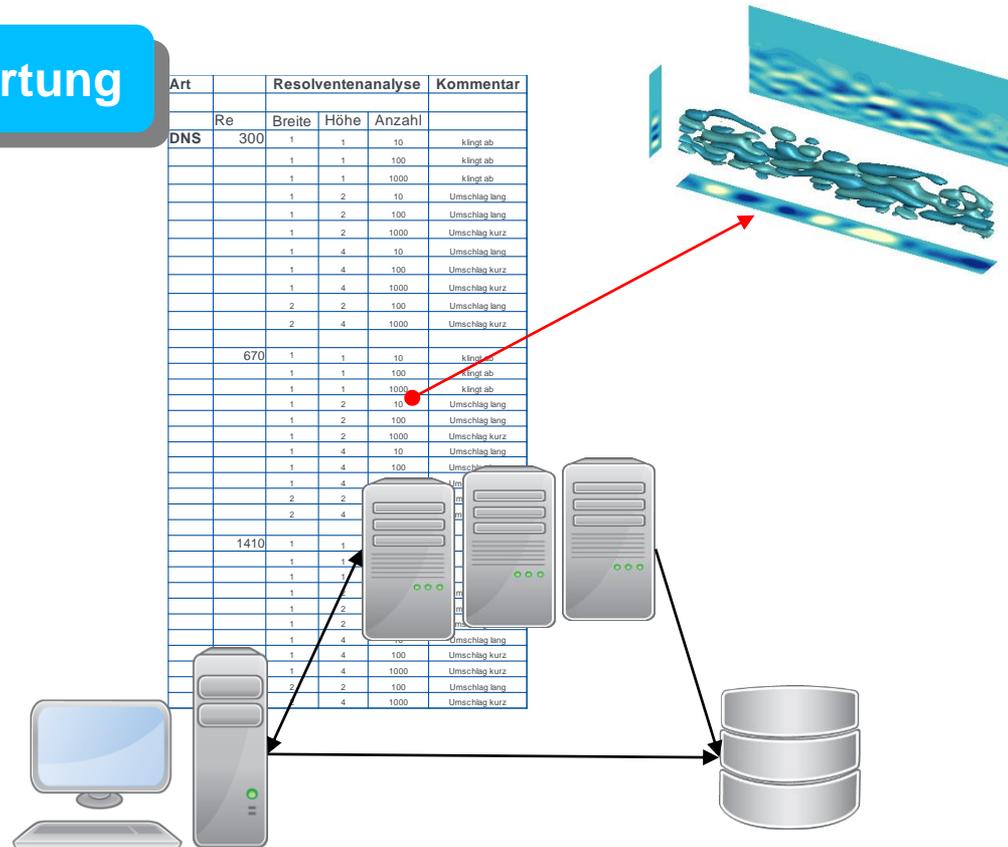


Einführung – Anforderungen – Umsetzung – Zusammenfassung

Beispiel: Direkte numerische Simulation einer turbulenten Grenzschichtströmung

Produktion/Auswertung

- Projekt
 - Erstellung
 - $O(10^2)$ Simulationen
 - Beobachtung

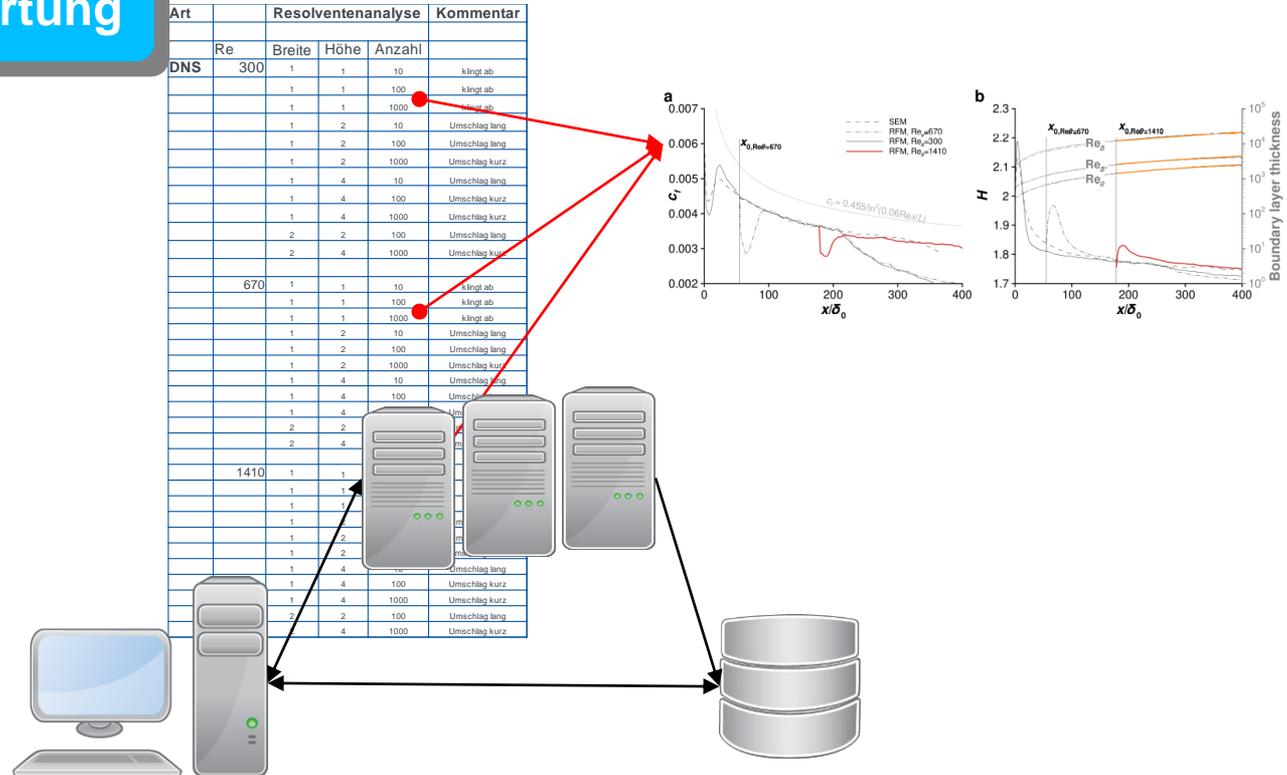


Einführung – Anforderungen – Umsetzung – Zusammenfassung

Beispiel: Direkte numerische Simulation einer turbulenten Grenzschichtströmung

Produktion/Auswertung

- Projekt
 - Erstellung
 - $O(10^2)$ Simulationen
 - Beobachtung
 - Klassifikation
 - Interpretation

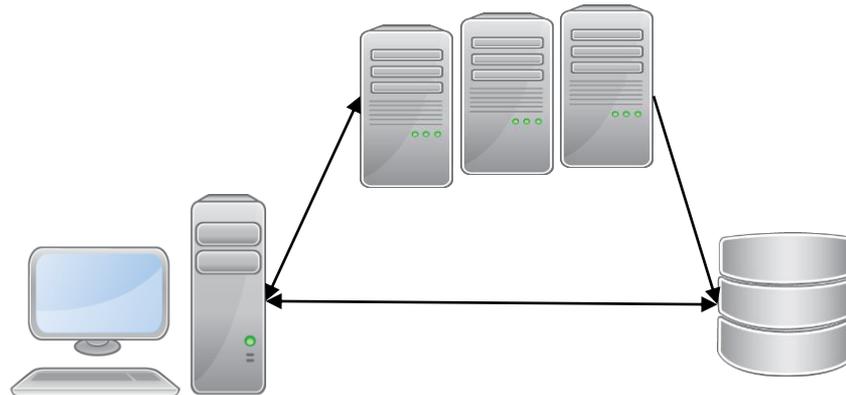


Produktion/Auswertung

- Projekt
 - Erstellung
 - $O(10^2)$ Simulationen
 - Beobachtung
 - Klassifikation
 - Interpretation

Anforderungen ans FDM

- Dokumentation der verwendeten Verfahren und Parameter
- Verknüpfung von Daten verschiedener Prozessschritte



Einführung – Anforderungen – Umsetzung – Zusammenfassung

Beispiel: Direkte numerische Simulation einer turbulenten Grenzschichtströmung

Publikation

- Projekt
 - Bewertung
 - Interpretation
 - Zusammenfassung
 - Transfer

Turbulent inflow generation by resolvent mode forcing

Björn Selent¹, Christoph Wenzel², Ulrich Rätz¹, and Oliver T. Schmidt²

¹ University of Stuttgart, Institute of Aerodynamics and Gas Dynamics,
70509 Stuttgart, Germany.

selent@ia.uni-stuttgart.de

² University of California San Diego, Dept. Mechanical and Aerospace Engineering,
La Jolla, CA 92093-0411, USA

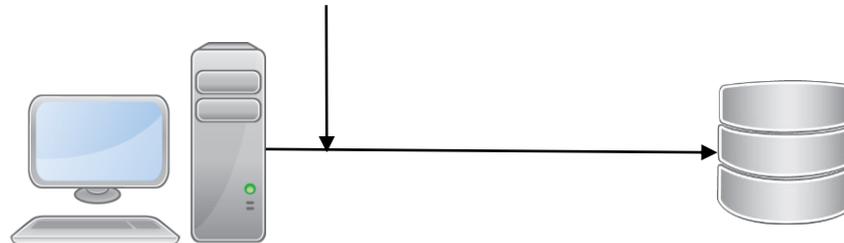
Abstract. The present article deals with turbulent inflow generation for use in large eddy or direct numerical simulations of boundary layer flows. The turbulent inflow is generated by synthetic volume forcing. The spatial and temporal properties of the synthetic eddies are obtained from resolvent mode analysis of turbulent mean data of a flat-plate flow at a Reynolds number range $Re = 300 - 1100$ and inserted into the same mean flow in subsequent direct numerical simulations. Both integral as well as local turbulent mean-statistics of the resulting unsteady flow fields show very good agreement compared to results of high fidelity simulations of the same flow regime. The recovery length is comparable to classical methods while suppressing numerical noise at the inflow. Additionally, the results hint at a Reynolds number independency of the proposed approach.

Keywords: turbulent inflow generation, numerical simulations, synthetic volume forcing, resolvent mode analysis

1 Introduction

The accurate numerical representation of turbulent well-bounded flow still is an area of high scientific and engineering interest because of its relevance in most technical applications. In the case of high fidelity numerical simulations the matter arises of how a statistically fully developed turbulent flow is obtained as fast and with as little computational effort as possible. Additionally it is beneficial if the method is computationally robust, local, i.e. does not need parallelization, and allows to be generalised.

Three main approaches have been established in the last quarter century, namely the simulation of all transition stages from laminar to turbulent flow, temporal or spatial reuse of precomputed solutions at an upstream station of the flow (recycling and rescaling methods, REM) and the introduction of artificial turbulent flow structures along the boundaries (synthetic turbulence generators, STG). Simulations of the full transition process start off from a laminar base and trigger the transition by exciting harmonic or pulsed perturbations which

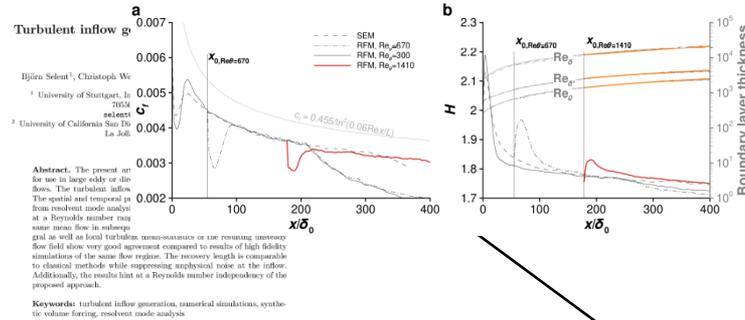


Einführung – Anforderungen – Umsetzung – Zusammenfassung

Beispiel: Direkte numerische Simulation einer turbulenten Grenzschichtströmung

Publikation

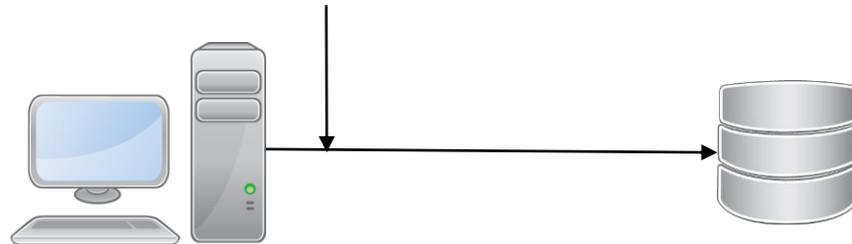
- Projekt
- Bewertung
- Interpretation
- Zusammenfassung
- Transfer



1 Introduction

The accurate numerical representation of turbulent wall-bounded flow still is an area of high scientific and engineering interest because of its relevance in most technical applications. In the case of high fidelity numerical simulations the matter arises of how a statistically fully developed turbulent flow is obtained as fast and with as little computational effort as possible. Additionally it is beneficial if the method is computationally robust, local, i.e. does not need parallelization, and allows to be generalised.

Three main approaches have been established in the last quarter century, namely the simulation of all transition stages from laminar to turbulent flow, temporal or spatial reuse of precomputed solutions at an upstream station of the flow (recycling and recycling methods, RRM) and the introduction of artificial turbulent flow structures along the boundaries (synthetic turbulence generators, STG). Simulations of the full transition process start off from a laminar base and trigger the transition by exciting harmonic or pulsed perturbations which

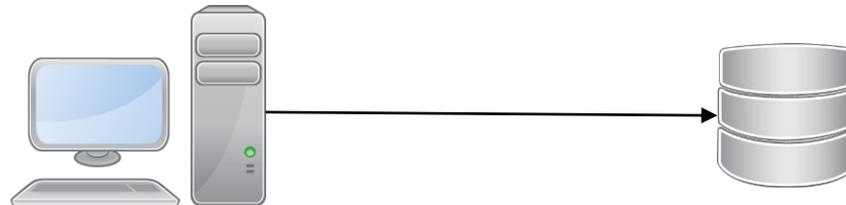


Publikation

- Projekt
 - Bewertung
 - Interpretation
 - Zusammenfassung
 - Transfer

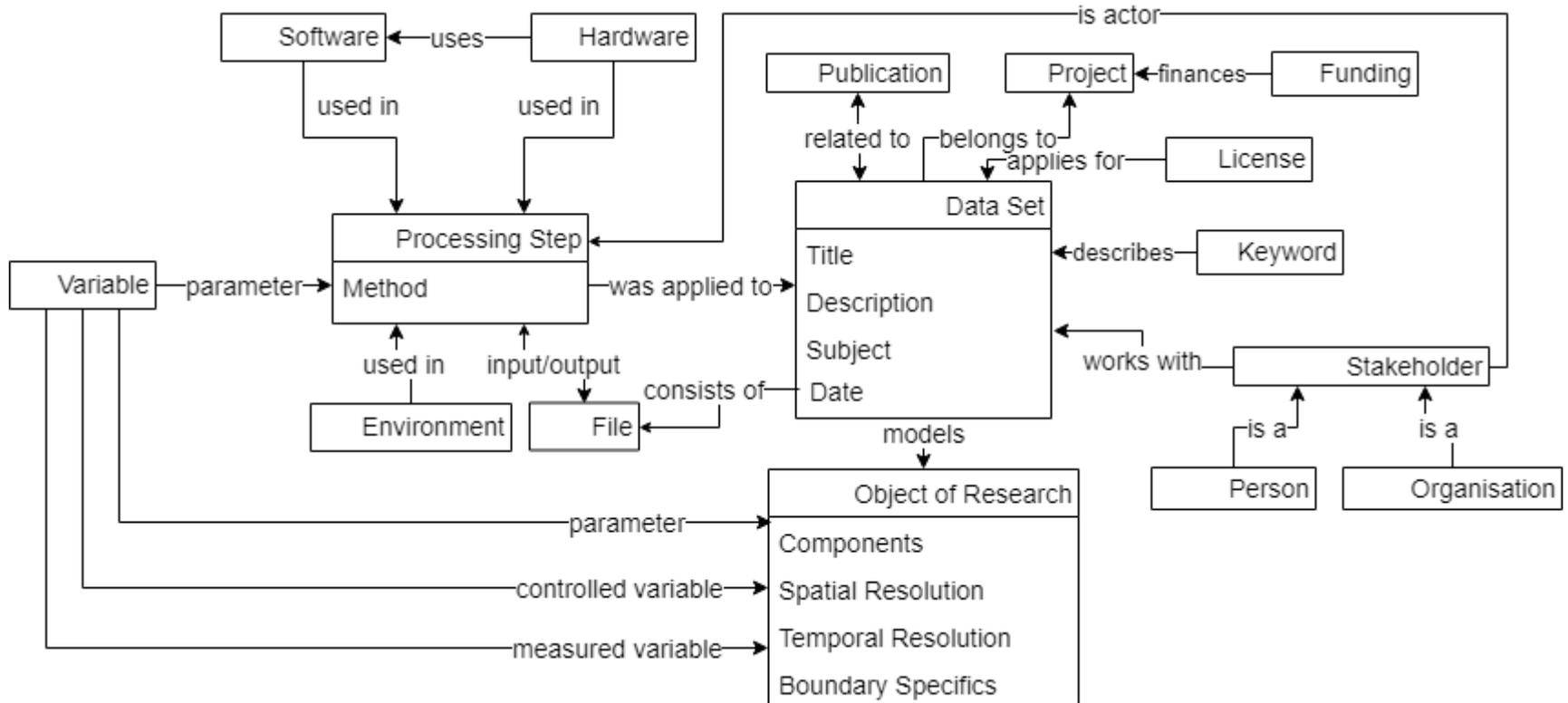
Anforderungen ans FDM

- Verknüpfung Publikation – zugrundeliegende Daten
- Langfristige auffindbare Archivierung der Daten
- Reproduzierbarkeit durch Publikation der wesentlichen Daten



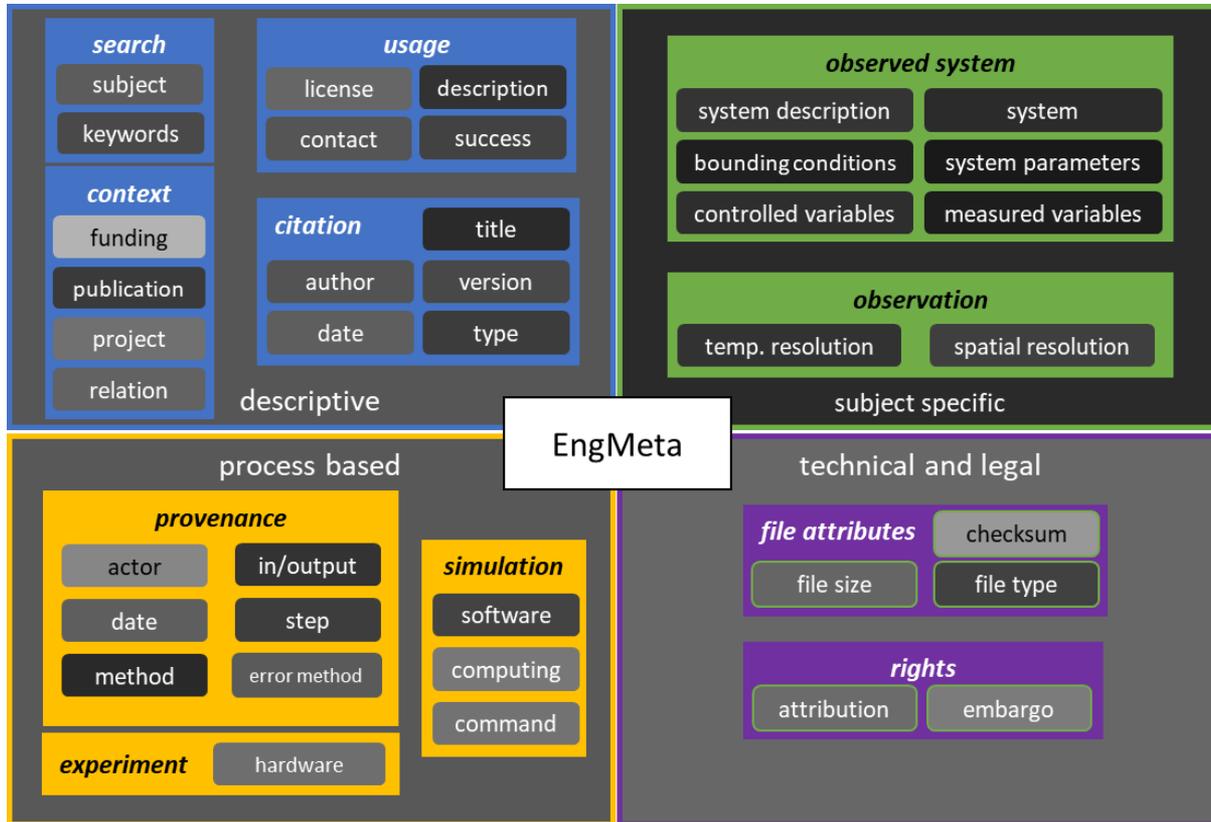
Einführung – Anforderungen – **Umsetzung** – Zusammenfassung

Metadata – Was soll dokumentiert werden?



Einführung – Anforderungen – **Umsetzung** – Zusammenfassung

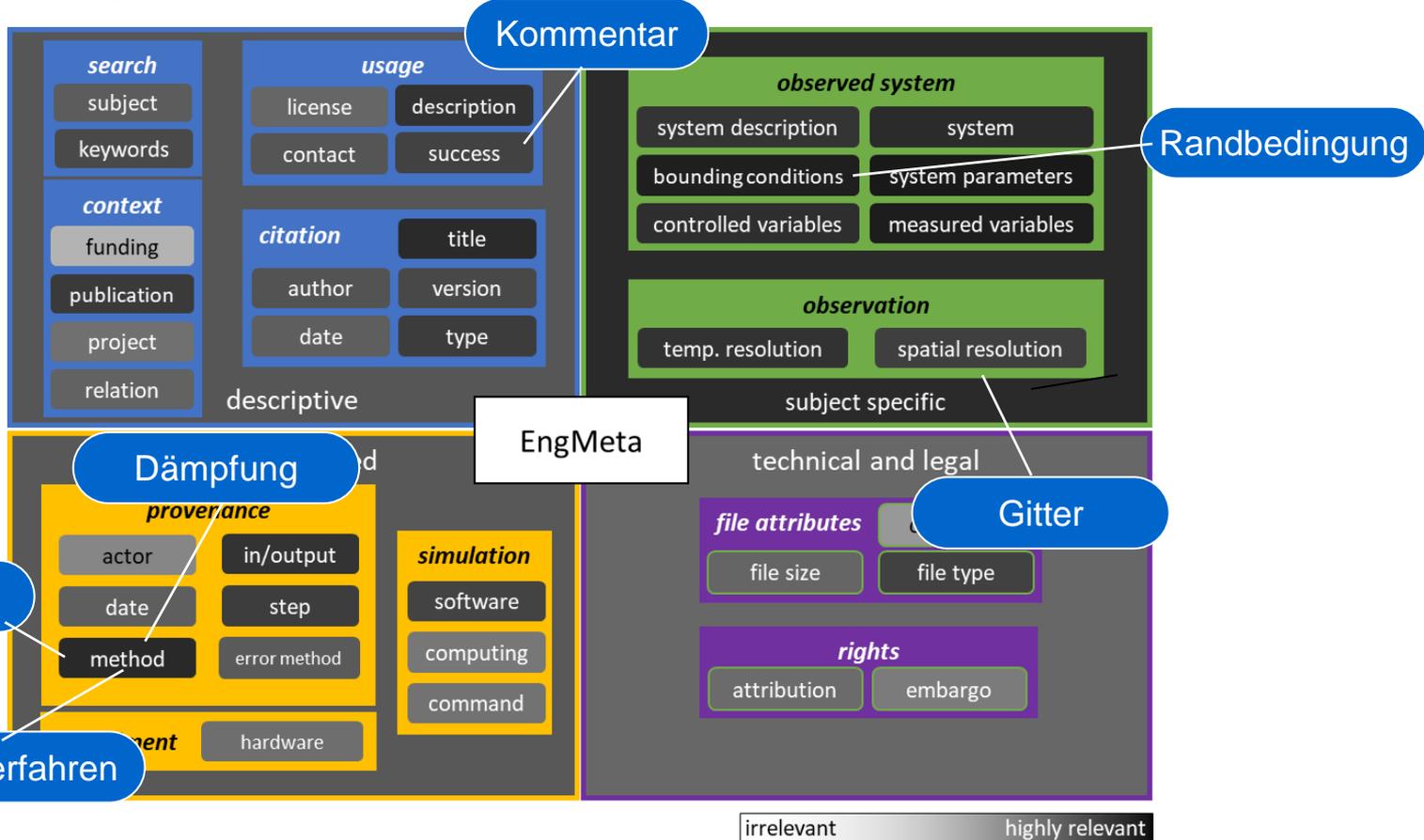
Metadata EngMeta – Dokumentation ingenieurwissenschaftlicher Daten



Schema und Beispieldatei:

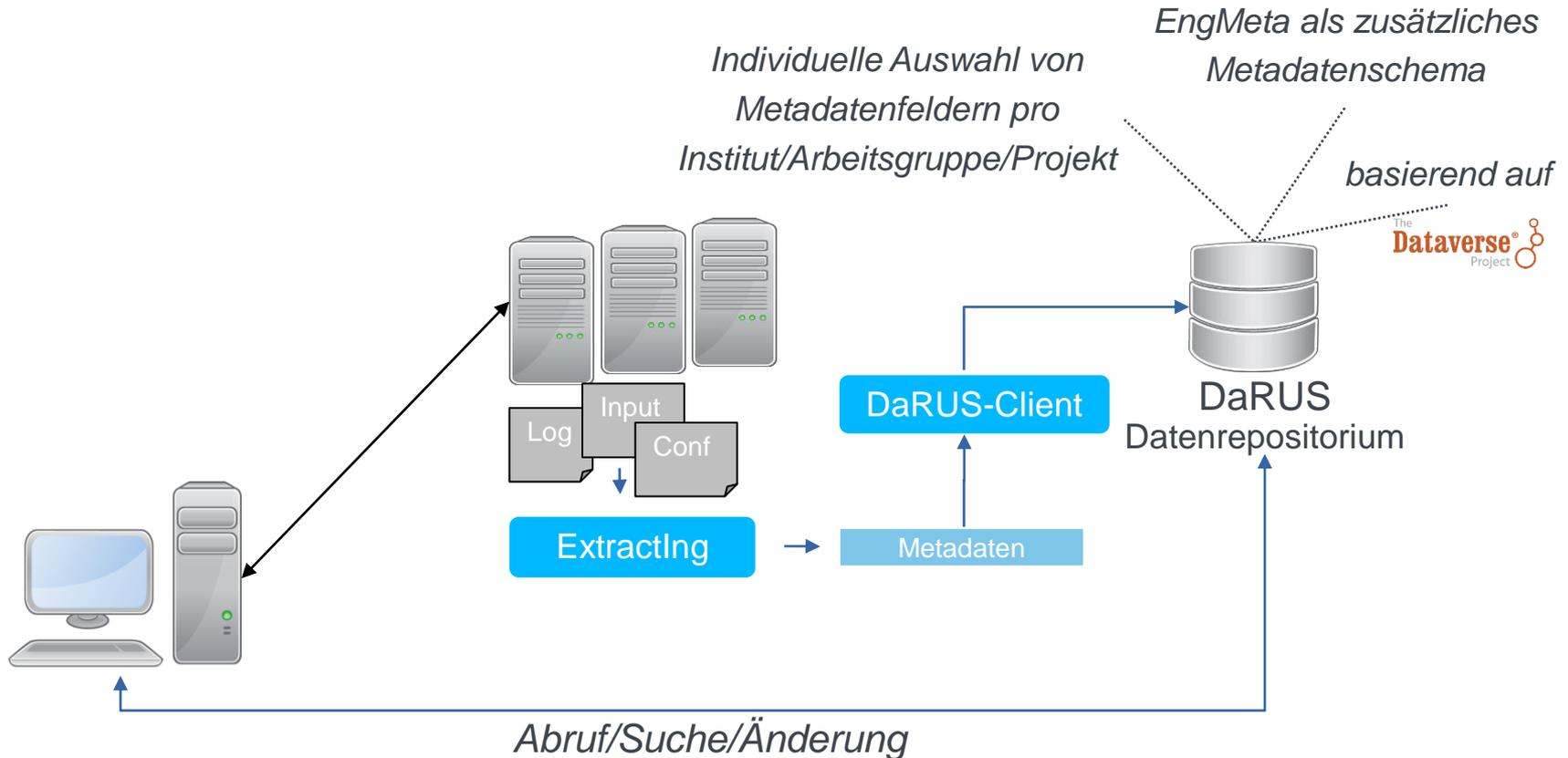
<https://www.izus.uni-stuttgart.de/fokus/engmeta>

Einführung – Anforderungen – **Umsetzung** – Zusammenfassung
Metadata EngMeta – Dokumentation ingenieurwissenschaftlicher Daten



Einführung – Anforderungen – **Umsetzung** – Zusammenfassung

Automatisierung der Metadatenerfassung



Einführung – Anforderungen – **Umsetzung** – Zusammenfassung

Lessons learned

- Ohne Automatisierung -> keine Metadaten
- Verwaltung von Daten braucht eine andere Sicht auf die Daten als Veröffentlichung
- Herausforderungen:
 - Umgang mit großen Datenmengen
=> Entscheidung darüber, wo welche Daten wie lange gespeichert werden sollen
 - Automatisierung der Ergänzung von Datensätzen im Forschungsprozess
=> Hinzufügen von Metadaten und Daten zu bestehenden Datensätzen
=> Sinnvolle Verlinkung zwischen Datensätzen

- **Problemstellung:**

- Verwaltung von und Übersicht über sehr viele und sehr umfangreiche und untereinander verknüpfte Daten

- **Idee:**

- Nutzung eines Datenrepositoriums als Metadatenpeicher für die Datenverwaltung
- Eng-Meta als Metadatenschema für die Ingenieurwissenschaften
- Automatisierte Erfassung und Speicherung der (Meta-)Daten

- **Folge (hoffentlich):**

- Strukturiert beschriebene Daten → einfacheres Teilen und Veröffentlichen von Daten
→ Open Science



Universität Stuttgart

Vielen Dank!

Dorothea Iglezakis

E-Mail dorothea.iglezakis@ub.uni-stuttgart.de

Telefon +49 (0) 711 685-83648

Universität Stuttgart

FoKUS – Kompetenzzentrum für FDM
Universitätsbibliothek

<https://www.izus.uni-stuttgart.de/fokus>
<https://www.ub.uni-stuttgart.de/dipling>



Das Projekt Dipl-Ing wurde vom BMBF
gefördert unter dem Kennzeichen 16FDM008

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Weitere Beteiligte

Björn Selent, selent@iag.uni-stuttgart.de
Institut für Aerodynamik und Gasdynamik

Björn Schembera, schembera@hlrs.de
Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart

Hamzeh Kraus, hamzeh.kraus@itt.uni-stuttgart.de
Institut für Thermodynamik

Anett Seeland, anett.seeland@tik.uni-stuttgart.de
FoKUS - Rechenzentrum

Einführung – Anforderungen – **Umsetzung** – Zusammenfassung

Sicht auf die Daten

Dataverse ist für die Publikation und das einfache Zitieren von Datensätzen ausgelegt und bietet für die Suche:

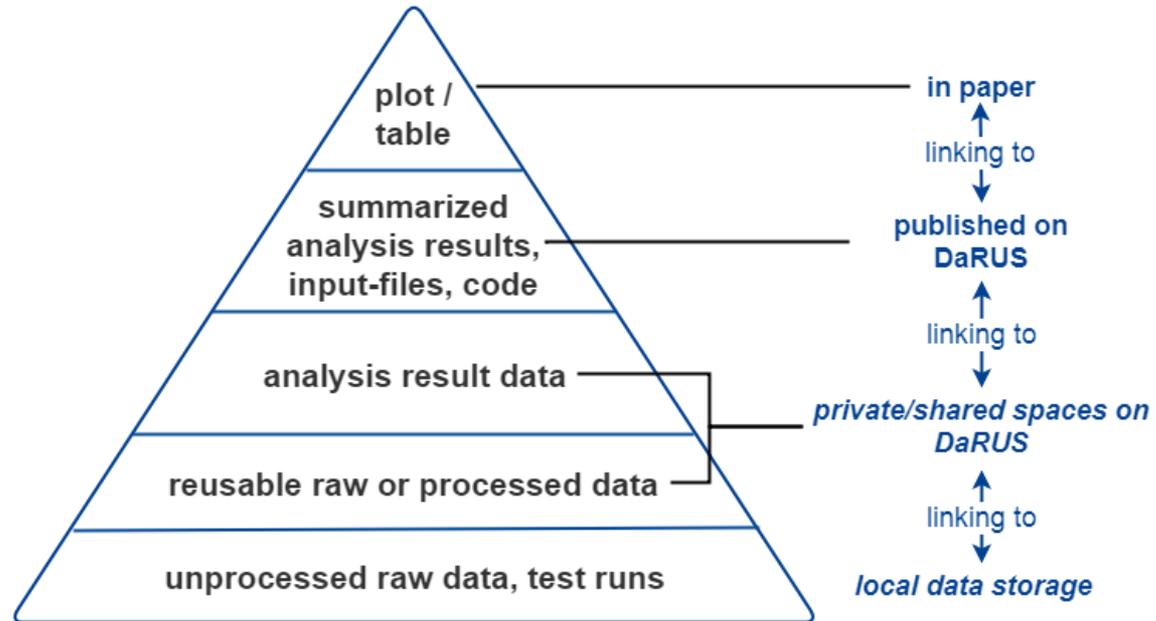
- Volltextsuche
- Suchfacetten

Zusätzlich notwendig:

- Bereichssuche für numerische Parameter
- Tabellarische Übersicht über die Datensätze

The screenshot displays the DaRUS Dataverse interface. At the top, the University of Stuttgart logo and the DaRUS logo are visible. The page title is 'Institute of Aerodynamics and Gas Dynamics (Universität Stuttgart)'. Below the header, there is a search bar with the text 'Search this dataverse...' and a search button labeled 'Find'. To the right of the search bar, there are links for 'Advanced Search' and 'Add Data'. The main content area shows a list of search results, with the first three results being 'turbulent_RFM' datasets. Each result includes a document icon, the dataset name, the date 'Mar 14, 2019 - Boundary Layers', the author 'Selenit, Björn, 2019, "turbulent_RFM", https://doi.org/10.5072/darus-170, DaRUS, DRAFT VERSION', and a brief description 'Simulation of turbulent wall boundary layer'. The results are sorted by relevance, and there are options to 'Contact', 'Share', 'Link', and 'Edit' for each result. On the left side of the interface, there are several facets for filtering the search results, including 'Publication Status' (Unpublished (12), Draft (6)), 'Dataverse Category' (Research Project (3), Research Group (2)), 'Metadata Source' (DaRUS (6), daRus (6)), 'Author Name' (Selenit, Björn (3), Puckert, Dominik (1), Staudenmeyer, Jennifer (1), Vogler, Patrick (1)), 'Subject' (Engineering (6)), 'Deposit Date' (2018 (3)), 'Controlled Variables Name' (RFM (3)), and 'Measured Variables Name' (Density (3), Pressure (3), Temperature (3), Velocity x (3), Velocity y (3)).

Linking of Data



Data pyramid for the simulation knowledge, adapted according to (Reilly, et al. 2011)

Referenzen:

- Schembera, B. & Iglezakis, D. (2019). The Genesis of EngMeta - A Metadata Model for Research Data in Computational Engineering. In E. Garoufallou, F. Sartori, R. Siatri & M. Zervas (eds.), *Metadata and Semantic Research* (p./pp. 127-132), Cham: Springer International Publishing. ISBN: 978-3-030-14401-2. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14401-2_12
- Selent, B., Kraus, H., Hansen, N., Schembera, B, Seeland, A. Iglezakis, D. (to appear). Management of Research Data in Computational Fluid Dynamics and Thermodynamics. In: Tagungsband E-Science-Tage 2019. Heidelberg
- Hermann, S., Iglezakis, D. & Seeland, A. (2019). Requirements for Finding Research Data and Software. *PAMM*, . doi: 10.1002/pamm.201900480