

PROSEMINAR

BETREUER: PROF. DR. JULIAN KUNKEL

# The NVIDIA Metaverse

JOHANN EILTS

# Agenda

1. Metaverse Einführung
2. Metaverse Technologien
  - Augmented Reality
  - Virtual Reality
3. NVIDIA Metaverse
4. NVIDIA Omniverse
  - Technologien und Bestandteile
5. Use Cases
6. Diskussion
7. Zukunftsblick

# Einführung: Was ist das Metaverse?

## Herkunft Begriff<sup>[1]</sup>



- Erstmals aus dem Roman "Snow Crash" von Neal Stephenson (**1992**)
- "Meta" + "Universe"

## Vorstellung Metaverse<sup>[1]</sup>



- 3-dimensionaler virtueller Kontext zur Kooperation von Nutzern → **virtuelle 3D Welt**
- Nutzer durch Avatar repräsentiert
- Geschäftliche Nutzung und Unterhaltung

## In dieser Präsentation:

Digitale Kollaboration und Unterhaltung im heutigen Kontext

NVIDIAS Ansatz zum Meta- / Omniverse

Omniverse als technische Grundlage

Metaverse und Computersimulation

Zukunftsblick und kritische Würdigung

[1] N. Stephenson, 'Snow crash', 1992

# Einführung: Virtuelle Welt für digitale Kollaboration

## Digitale Kollaboration<sup>[3][4]</sup>



- Zusammenarbeit & Interaktion gemeinsamer Aufgaben
- Gestützt durch Computer & Informationstechnologie

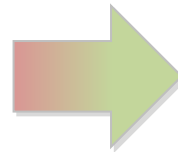
## Relevanz



- Steigende Digitalisierung
- Covid-19 Pandemie
- Steigende Akzeptanz für Home Office<sup>[5]</sup>

## Traditionell

- Arbeiten lokal beim Arbeitgeber
- Kollaboration primär analog
- Analoges Testen (Bsp.: Produktionsoptimierung)

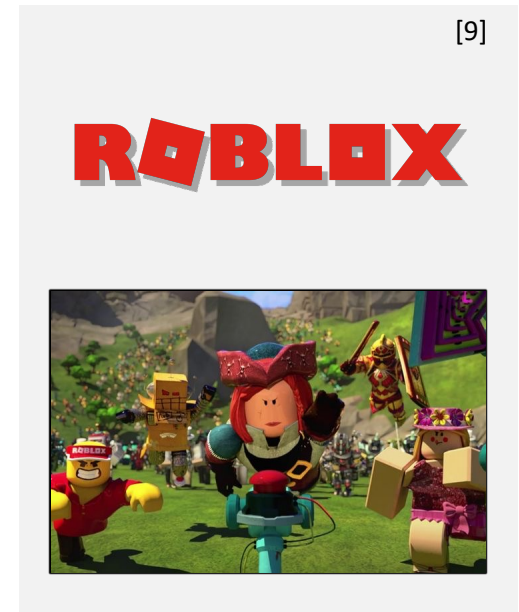
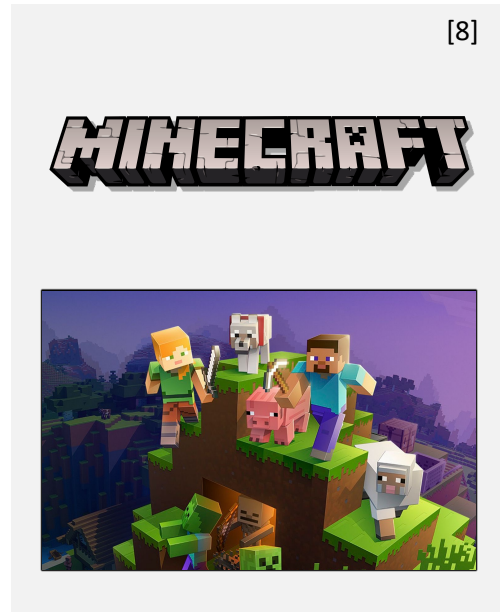
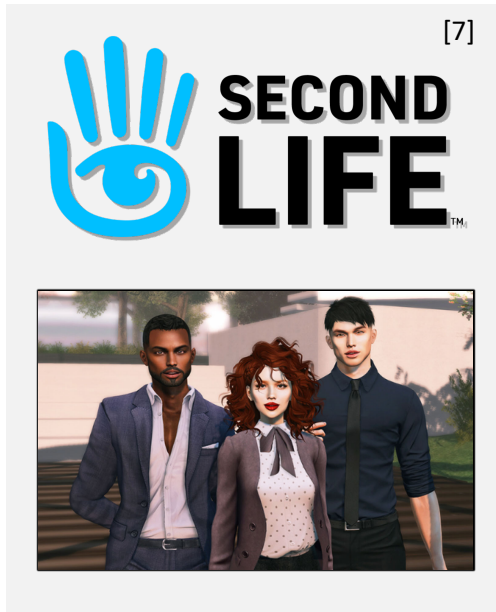


## Zukunftsvision

- Virtuelle Welt, "Metaverse" als Arbeitsplatz
- Digitalen Kollaboration potenziell von zu Hause
- Virtuelle Ergebnisse → physikalische Ergebnisse<sup>[6]</sup>

[3] E. Darics and M. C. Gatti, 'Talking a team into being in online workplace collaborations: The discourse of virtual work', 2019 [4] A. Pinsonneault and K. L. Kraemer, 'The impact of technological support on groups: An assessment of the empirical research', 1989 [5] D. Mercer, 'Strategy Analytics: Employment Landscape Transformed as Millions of Employees Want to Work from Home Forever', 2020 [6] M. M. Robinson, 'The metaverse will shape the future of work.', 2021

# Einführung: Virtuelle Welt als Unterhaltungsmedium



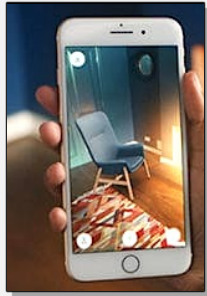
[7] Linden Lab, 'Second Life', 2022 [8]Mojang, 'Minecraft', 2022 [9] Roblox Corporation, 'Roblox', 2022

# Metaverse Technologie AR

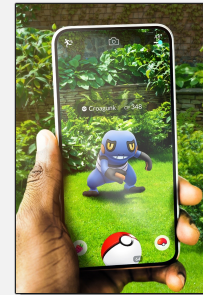
## Augmented Reality<sup>[10]</sup>

- Projektion computer-generierter Inhalte auf echte Welt
- Objekte können 2- oder 3-dimensional sein
- Kameratechnologie nötig zur Aufnahme der realen Welt
- Projektion in Echtzeit möglich

→ Nutzung heutzutage durch Zuwachs leistungsstarker mobiler Endgeräte möglich



[11]



[12]

[13] A. Gladston and A. Duraisamy, 'Augmented Reality Indoor Navigation Using Handheld Devices', 2019 [14] K. Steuerwald, 'Mit der IKEA App per Augmented Reality einrichten', 2019 [15] Niantic Inc., 'Pokemon GO', 2022

# AR technologische Basis<sup>[13]</sup>

## Displaytechnologie Smartphones



Hardware zur Interaktion des Nutzers

- Muss portabel sein
  - Leicht
  - Akku
- Weit verbreitet
- Historisch: Helme von Soldaten

## 3D Registrierung



Registrierung räumlicher Lage

- Projektion virt. Modell in reale Welt
- Computervision
- Kameranutzung
  - Fokuspunkte
  - Umgebungsmarkierung

## Intelligente Interaktion



Interaktion des Nutzers mit  
Projektion und Umwelt

- Nutzer beeinflusst virt. Objekt
- Umwelt beeinflusst virt. Objekt
- Input bspw. durch Touch
- Feedback an Nutzer (Vibration)

[13] Y. Chen, Q. Wang, H. Chen, X. Song, H. Tang, and M. Tian, 'An overview of augmented reality technology, 2019

# Metaverse Technologie VR

## Virtual Reality<sup>[14][15]</sup>



- Simulation einer lebensechten Umgebung
- Interaktion durch eine Person physikalisch-ähnlich
- Virtuelle Welt reagiert auf Nutzer-Input (interaktiv)
- Schaffung immersiver (= fesselnden/eindringlichen) Erfahrung

## Ausgewählte Use Cases<sup>[16][17][18]</sup>



### Unterhaltung

- Videospiele
- Freizeitparks



### Ausbildung

- Pilotenausbildung
- Polizeiausbildung



### Geschäftlich

- Innenarchitektur
- Digitale Konferenzen

[14] OED, 'virtual reality', 2021 [15] XinReality, 'Virtual Reality', 2021 [16] K. Berntsen, R. C. Palacios, and E. Herranz, 'Virtual reality and its uses: a systematic literature review, 2016 [17] S. Thompson, 'VR Applications: 21 Industries already using Virtual Reality', 2020 [18] XinReality, 'Virtual Reality Use Cases', 2017

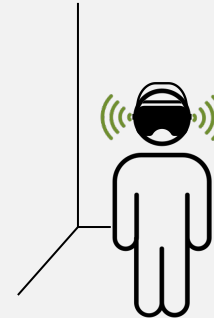


# VR technologische Basis: Hardware

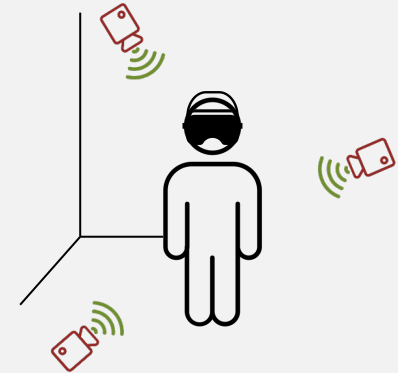
## Hardware<sup>[19]</sup>



- Basiert auf Smartphone-Technologien:
- **Bewegungssensoren, Gyroskope**
  - Wahrnehmung von Bewegungen
  - Körper, Kopf, Hände
- Bildschirme mit Stereo Projektion
- Energieeffiziente Prozessoren
- Headsets standalone oder angebunden
- Dedizierte VR Controller
- Sensoren am Gerät oder extern



Inside-out Tracking<sup>[20]</sup>



Outside-in Tracking<sup>[21]</sup>

[19] K. Kelly, 'HYPER VISION', 2016 [20] XinReality, 'Inside-out tracking', 2020 [21] XinReality, 'Outside-in tracking, 2018

# VR technologische Basis: Hardware

## Oculus Quest 2<sup>[22]</sup>



- Standalone
- Zielgruppe: Konsumenten
- 450 €
- Auflösung: 1832 x 1920
- Inside-out Tracking

## Valve Index<sup>[23]</sup>



- Angebunden an PC
- Zielgruppe: Konsumenten
- 1.079 €
- Auflösung: 1440 x 1600
- Outside-in Tracking

## Varjo Aero<sup>[24]</sup>



- Angebunden an PC
- Zielgruppe: Anfangs Fachkräfte
  - Heute auch Konsumenten
- 1.990 €
- Auflösung: 2880 x 2720
- Outside-in Tracking

[22] Meta, 'Oculus Quest 2', 2020 [23] Valve Corporation, 'Valve Index VR Kit', 2022 [24] Varjo, 'Varjo Aero', 2021



# VR technologische Basis: Software

## Software Beispiele<sup>[25]</sup>

### VR SDK

- Abhängig von Hardware Plattform
- Erstellung von VR Umgebungen



### VR Training Software

- Abhängig vom Use Case
- VR Umgebung bereits vorhanden

### VR Social Software

- Digitale Kollaboration
- Bsp.: Metas Horizon

## Web3D Consortium: X3D<sup>[26]</sup>



- Open Source Dateiformat
- Nachfolger der VR Modeling Language
- Unterstützt Shading und Rendering
- Nutzt bekannte Standards, wie XML
- Plattform unabhängig
- Bspw. von Blender benutzt
- Web VR Anwendung

[25] G2, 'Best Virtual Reality Software', 2022 [26] D. Brutzman, 'X3D Graphics and VR, 2016



# GPU als VR Prozessorbasis

## Warum GPU über CPU?[27]



- VR sehr grafiklastig (Stereo-Bildschirme)
- CPUs sind für Vielzahl von Anwendungen ausgelegt
- GPUs speziell für Grafikanwendungen
  - Rendering, Shading, Ray Tracing...
  - Berechnungen gleich, Daten unterschiedlich
- Anwendung verändert sich durch Nutzerinput
- GPUs haben deutlich mehr Cores als CPUs
  - Cores arbeiten parallel
  - Cores teilen sich eine Control Unit
  - Idle Cores können schneller wieder belegt werden

## Bsp.: Einführung von NVIDIAS Pascal GPU (2016) 10XX Reihe<sup>[28]</sup>

- **Single Pass Stereo & Lens Matched Shading**
  - Technologien speziell für VR entwickelt
  - Optimieren Verzerrung bei Stereobildschirmen mit Linse
- Höherer Detailgrad in Bildmitte

[27] P. Gupta, 'CUDA Refresher: Reviewing the Origins of GPU Computing', 2020 [28] NVIDIA, 'Pascal VR Tech', 2016

# NVIDIAS Metaverse

## Definition NVIDIA<sup>[2]</sup>

Geteilte virtuelle 3D Welt, **oder Welten**, die interaktiv, immersive und kollaborativ sind.

→ Vergleichbar zur ursprünglichen Begriffsschöpfung

- Metaverse aber eine **Menge** von virtuellen Welten
- Z.B. Minecraft, Roblox damit nur Teil des Metaverse



**Metaverse also mehr, als eine einzelne virtuelle Welt**

NVIDIA ist kein Entwickler von Unterhaltungssoftware



NVIDIA entwickelt das Omniverse und Hardware

[2] B. Caulfield, 'What is the Metaverse?', 2021

# Was ist das NVIDIA Omniverse?

**Plattform zur Verbindung von verschiedenen virtuellen Welten in ein zusammengefasstes “Universum” [2]**

- Digitale Kollaboration bei Graphik / Design Projekten
- Zwischen unterschiedlicher Design Software (Unreal Engine, Blender, Autodesk Maya,...)
- Einsetzbar zur digitalen Kollaboration bei Erstellung von VR und AR Applikationen
- Kollaboration In Echtzeit<sup>[29]</sup>

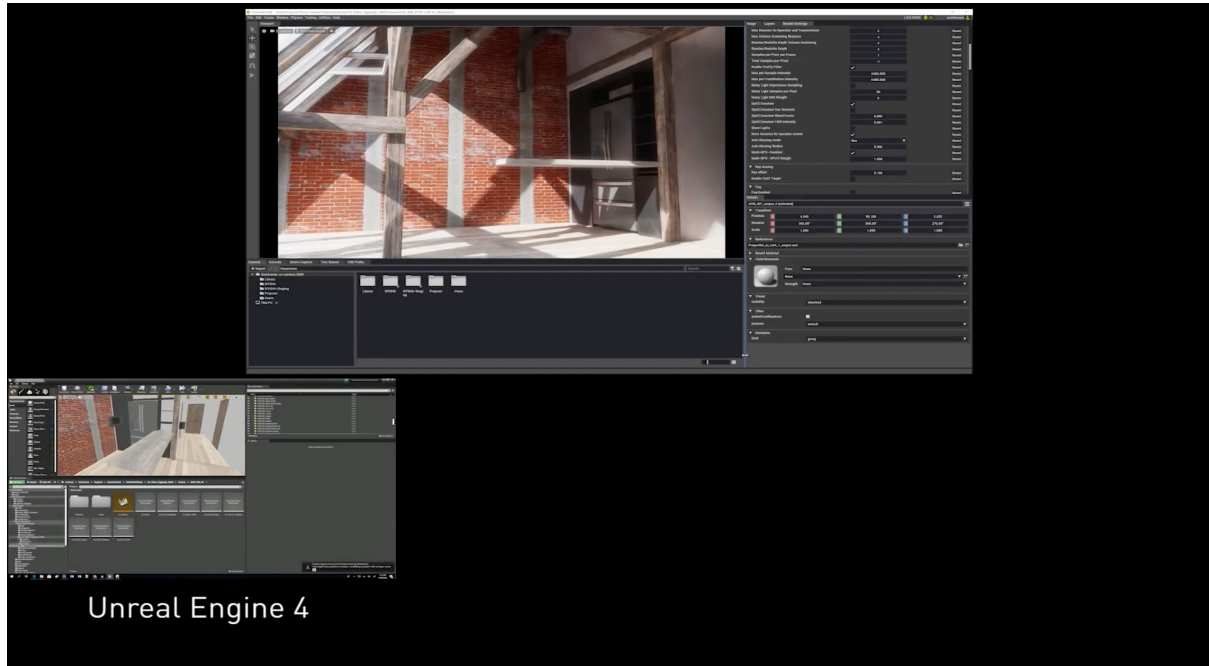


Omniverse<sup>[2]</sup>

- Grundbestandteil von NVIDIAS Vorstellung des Metaverse
- NVIDIAS Vorzeigeprojekt im Bereich Metaverse

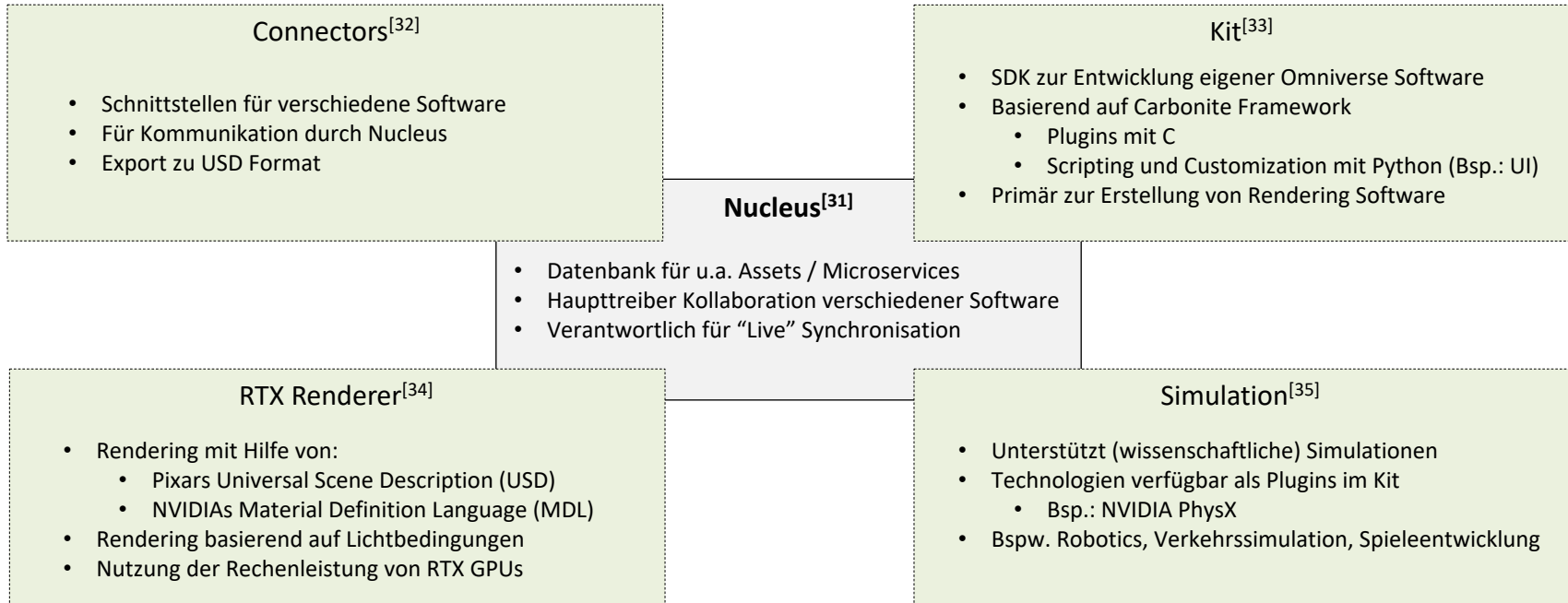
[2] B. Caulfield, 'What is the Metaverse?', 2021 [29] NVIDIA, 'NVIDIA Omniverse, 2022

# Digitale Kollaboration mit Omniverse



<https://www.youtube.com/watch?v=xC6cho2VL6c>

# NVIDIA Omniverse Bestandteile<sup>[30]</sup>



[30] NVIDIA, 'Omniverse Platform Overview', 2022 [31] NVIDIA, 'Nucleus', 2022 [32] NVIDIA, 'Connect Overview', 2022 [33] NVIDIA, 'Kit Overview', 2022 [34] I. Llamas, 'The Omniverse RTX Renderer', 2022 [35] NVIDIA, 'Simulation', 2022



# Omniverse Nucleus<sup>[31]</sup>

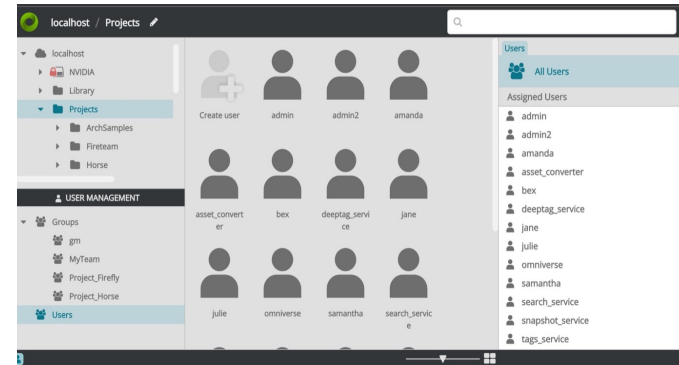
- Nutzer und Berechtigungen umfangreich verwaltbar für Projekte
- Gruppenmitglieder können digitale Assets und virtuelle Welten in Datenbank hochladen



OMNIVERSE  
NUCLEUS

- Webinterface der Datenbank als Datei Browser
- Service Schnittstellen bieten Möglichkeit zum Echtzeit Rendering

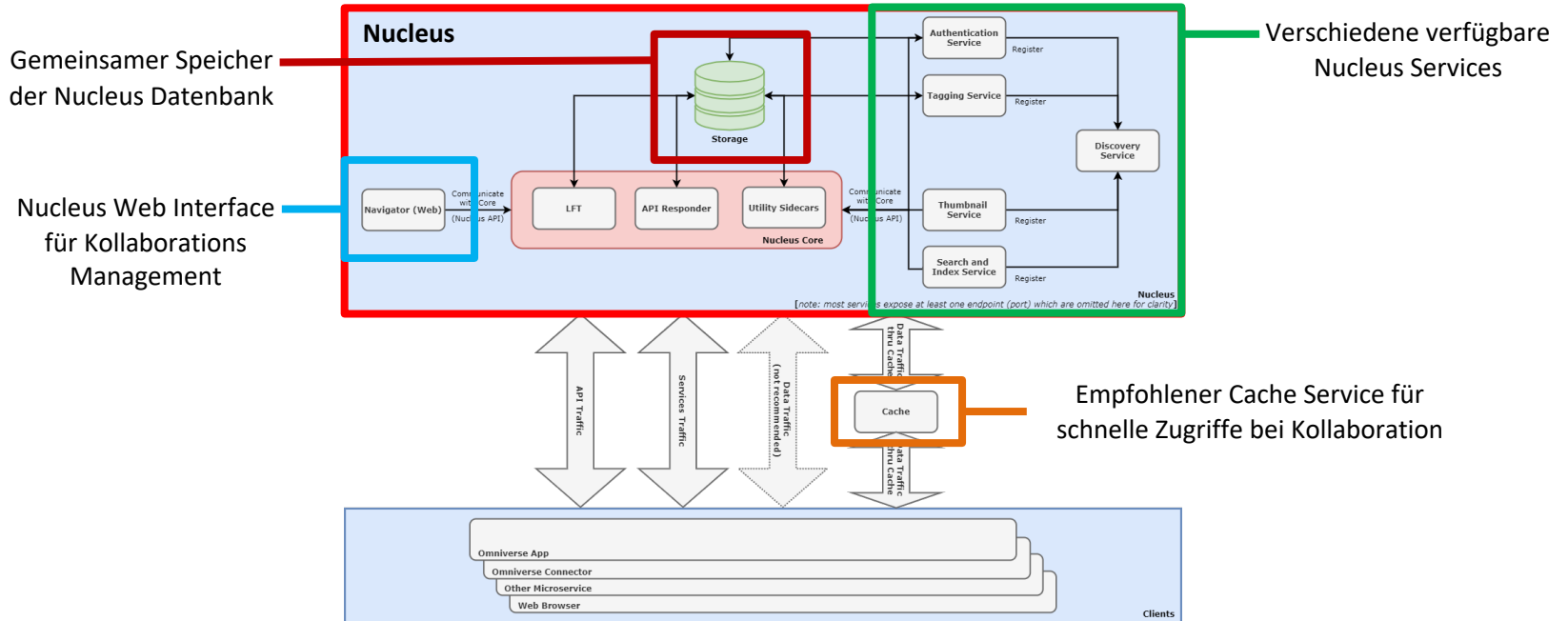
- Asset Synchronisation → alle Klienten erhalten sofort Update
- Omniverse Cache Service → schneller Zugriff auf geteilte Inhalte



[https://docs.omniverse.nvidia.com/prod\\_nucleus/prod\\_nucleus/features.html](https://docs.omniverse.nvidia.com/prod_nucleus/prod_nucleus/features.html)

[31] NVIDIA, 'Nucleus, 2022

# Nucleus Architektur<sup>[36]</sup>



[https://docs.omniverse.nvidia.com/prod\\_nucleus\\_images/principal\\_arch.png](https://docs.omniverse.nvidia.com/prod_nucleus_images/principal_arch.png)

[36] NVIDIA, 'Nucleus Data Model, 2022

# Nucleus Server Installation<sup>[37]</sup>

## Empfohlene Systemkonfiguration

- 12+ Cores (mind. 3,0 GHz)
- 32 GB RAM



- Keine konkrete Empfehlung Festplattenspeicher
- Detaillierte SSL/TLS Konfiguration verfügbar
- Für bis zu 500 Nutzer
  
- Firewall nicht empfohlen

## Infrastruktur

Basiert plattformübergreifend auf Docker Infrastruktur

- Ubuntu OS empfohlen
- Docker Versionen 18.xx / 19.xx empfohlen
- *apt install docker* nicht empfohlen
  - Nicht aktuell

→ Nucleus Komponenten in Docker Containern verfügbar

→ 1 Nucleus = 25 gleichzeitige Echtzeit-Bearbeitungen

[37] NVIDIA, 'Packages, Requirements, Planning, and Preparation, 2022

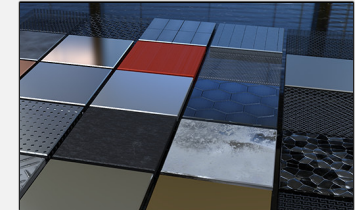
# RTX Renderer: USD & MDL

## Universal Scene Description<sup>[38]</sup>



- Framework zum Austausch von Grafikdateien
- Ursprünglich entwickelt von Pixar
- Beinhaltet Open-Source 3D Dateiformat
- Unterstützt bei der Kollaboration von 3D Projekten
- Basis des echtzeit Renderings vom Omniverse
- Hält Daten im Arbeitsspeicher für schnellen Zugriff

## Material Definition Language<sup>[39]</sup>



<https://www.nvidia.com/en-us/design-visualization/technologies/material-definition-language/>

- Darstellung realistischer Materialien & Lichtbedingungen
- Anwendungsübergreifend (bei gegebenem Support)
- Vorhandene Bibliothek von Materialien
- Materialien können selbst erstellt werden
- Vergleichbare Render Ergebnisse
  - Über verschiedene Anwendungen hinweg

→ Integriert im Omniverse für Kontinuität und Einheitlichkeit

[38] R. Merritt, 'To 3D and Beyond: Pixar's USD Coming to an Industry Near You', 2020 [39] NVIDIA, 'NVIDIA Material Definition Language', 2022.

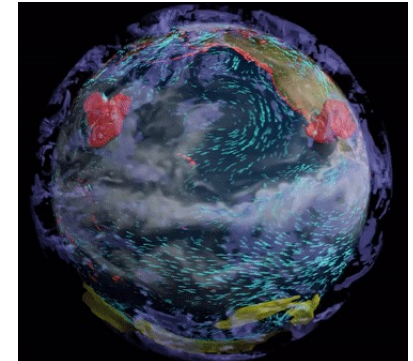
# Omniverse Earth-2 Projekt

## Computer Simulation Definition<sup>[40]</sup>

- Simulation wissenschaftlicher Szenarien
- Simulation mit Hilfe mathematischer Modelle
- Szenario wird simuliert mit Computer
- Wettervorhersage
- Verkehrssimulation
- Digitale Fabriken

## NVIDIAS Earth-2<sup>[41]</sup>

- "Digitaler Zwilling der Erde"
  - Simulation und Vorhersage der Klimaentwicklung
  - Vorhersagen sollen mehrere Jahrhunderte in Zukunft reichen
  - "KI-Supercomputer" in Planung
- soll mit Omniverse umgesetzt werden



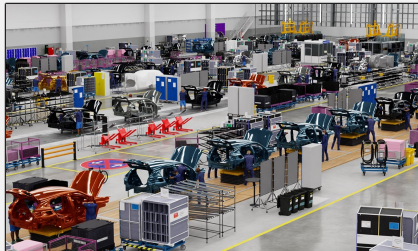
<https://blogs.nvidia.com/wp-content/uploads/2021/11/e-2-earth-simulation.mp4>

[40] H. Gould, J. Tobochnik, and W. Christian, An introduction to computer simulation methods: applications to physical systems , 2007 [41] J. Huang, 'NVIDIA to Build Earth-2 Supercomputer to See Our Future', 2021

# Weitere Omniverse/Metaverse Use-Cases<sup>[2]</sup>

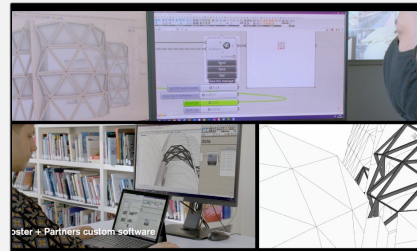
## BMW

- Digitale Produktion
- ERP Anbindung
- Robotics Anbindung



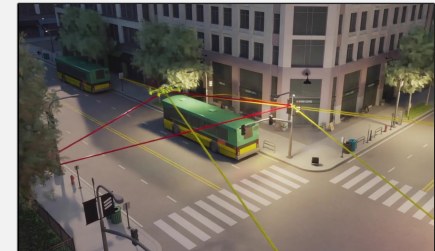
## Foster & Partners

- Design & Architekturbau
- Custom Software im Omniverse



## Ericsson

- Omniverse für Simulation
- 5G Netzwerke in Städten in Echtzeit simulieren



→ technische Anbindung zu vorhandenen und heterogenen Systemen möglich

[2] B. Caulfield, 'What is the Metaverse?', 2021

# Diskussion

## Wie stark Lock-in Effekt?

- Omniverse basiert auf NVIDIA-exklusiven Technologien
  - PhysX, MDL, RTX...
- NVIDIA Hardwarehersteller

## Metaverse als Hype zum Verkauf von Hardware?

## Schnittstellen zu externer Software gesichert?

- Angewiesen auf Kooperation verschiedener Entwickler?
- "Future-proof"?

## Omniverse nur Weiterentwicklung der USD von Pixar?

## Jedes Unternehmen mit eigener Metaverse Definition

- Einheitliche Definition nötig

# Zukunftsblick

21 **Technology**

## Nvidia forecasts upbeat revenue on metaverse hopes

By Nivedita Balu and Stephen Nellis

Search Bloomberg Sign In

**Technology**

## Barbados Is Opening a Diplomatic Embassy in the Metaverse

- Located in Decentraland, where real estate can cost millions
- Online world already hosts shopping, real-world concerts

LIVE ON BLOOMBERG  
Watch Live TV >  
Listen to Live Radio >



TECH-TITEL

## Welche Aktien Goldman Sachs für Profiteure des Metaverse hält

Facebook verspricht eine schöne neue Welt der Avatare. Firmen wie Roblox, Snap und Nvidia verdienen mit am neuen Web 3.0. Welche Aktien für Anleger interessant sein könnten.

INSIGHT INNOVATION

## Metaverse in China: „Schlachtfeld“ im Wettbewerb um Innovationen

China hat ambitionierte Pläne für das Internet der Zukunft –

221 **Deals**

1 month

## Nvidia metaverse future bright even as Arm may slip from grasp

By Nivedita Balu

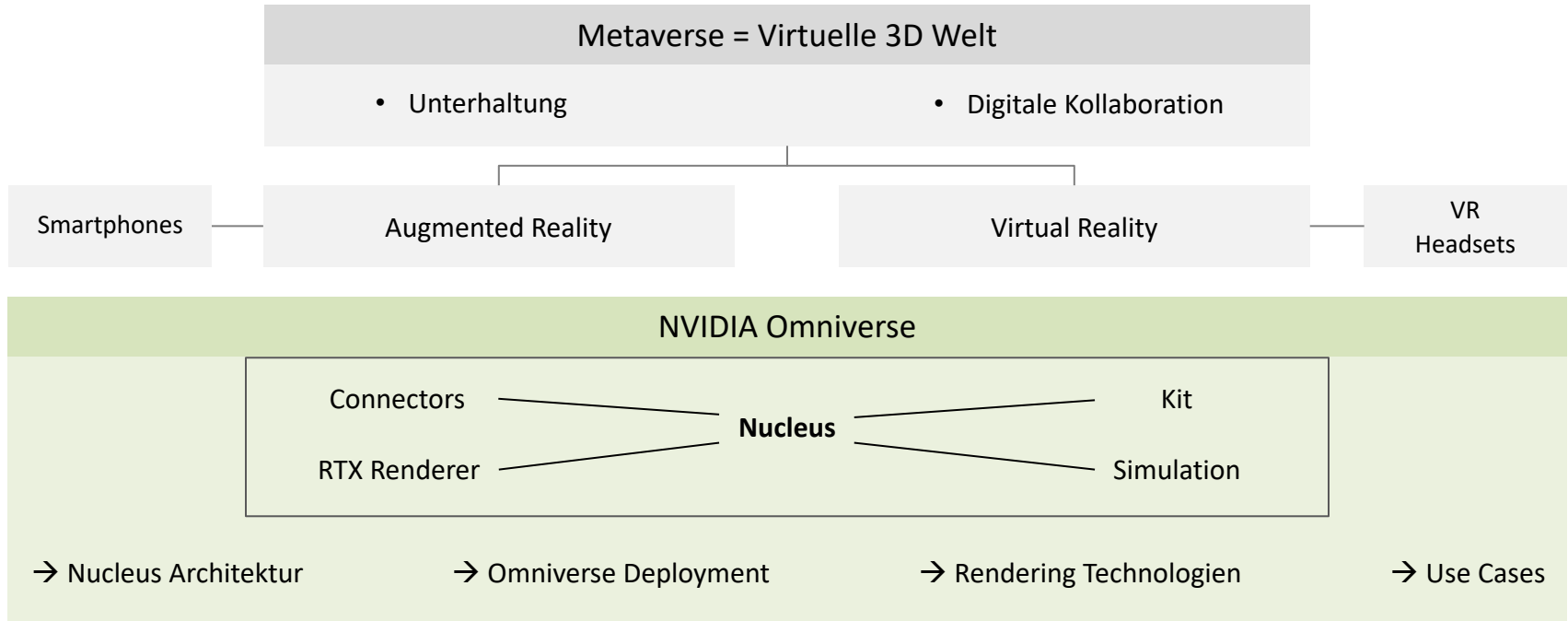
**Disrupted**

## Boeing wants to build its next airplane in the 'metaverse'

By Eric M. Johnson and Tim Hepher



# Zusammenfassung



# Literatur

- [1] N. Stephenson, Snow crash. New York: Bantam Books, 1992. Accessed: Dec. 06, 2021. [Online]. Available: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=736395>
- [2] B. Caulfield, 'What Is the Metaverse?', NVIDIA Blog, Aug. 10, 2021. <https://blogs.nvidia.com/blog/2021/08/10/what-is-the-metaverse/> (accessed Nov. 04, 2021).
- [3] E. Darics and M. C. Gatti, 'Talking a team into being in online workplace collaborations: The discourse of virtual work', *Discourse Studies*, vol. 21, no. 3, pp. 237–257, Jun. 2019, doi: 10.1177/1461445619829240.
- [4] A. Pinsonneault and K. L. Kraemer, 'The impact of technological support on groups: An as-sessment of the empirical research', *Decision Support Systems*, vol. 5, no. 2, pp. 197–216, Jun. 1989, doi: 10.1016/0167-9236(89)90007-9.
- [5] D. Mercer, 'Strategy Analytics: Employment Landscape Transformed as Millions of Employees Want to Work from Home Forever', *businesswire.com*, Jul. 22, 2020. <https://www.businesswire.com/news/home/20200722005691/en/> (accessed Jan. 09, 2022).
- [6] M. M. Robinson, 'The metaverse will shape the future of work.', *workplaceinsight.net*, Dec. 17, 2021. <https://workplaceinsight.net/the-metaverse-will-shape-the-future-of-work-heres-how/> (accessed Jan. 09, 2022).
- [7] Linden Lab, 'Second Life', *secondlife.com*, 2022. <https://secondlife.com> (accessed Jan. 10, 2022).
- [8] Mojang, 'Minecraft', 2022. <https://www.minecraft.net/en-us> (accessed Jan. 10, 2022).
- [9] Roblox Corporation, 'Roblox', 2022. <https://www.roblox.com> (accessed Jan. 10, 2022).
- [10] A. Gladston and A. Duraisamy, 'Augmented Reality Indoor Navigation Using Handheld Devices', *International Journal of Virtual and Augmented Reality*, vol. 3, no. 1, pp. 1–17, Jan. 2019, doi: 10.4018/IJVAR.2019010101.
- [11] K. Steuerwald, 'Mit der IKEA App per Augmented Reality einrichten', *IKEA.com*, 2019. <https://www.ikea.com/de/de/this-is-ikea/corporate-blog/ikea-place-app-augmented-reality-puba55c67c0> (accessed Jan. 10, 2022).
- [12] Niantic Inc., 'Pokémon GO', *pokemongolive.com*, 2022. <https://pokemongolive.com/en/> (accessed Jan. 10, 2022).
- [13] Y. Chen, Q. Wang, H. Chen, X. Song, H. Tang, and M. Tian, 'An overview of augmented reality technology', *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1237, no. 2, p. 022082, Jun. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1237/2/022082.
- [14] OED, 'virtual reality', *Oxford English Dictionary*. Dec. 01, 2021. Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.oed.com/view/Entry/328583?redirectedFrom=virtual+reality#id>
- [15] XinReality, 'Virtual Reality', *Virtual Reality and Augmented Reality Wiki*, Sep. 02, 2021. [https://xinreality.com/wiki/Virtual\\_Reality](https://xinreality.com/wiki/Virtual_Reality)
- [16] K. Berntsen, R. C. Palacios, and E. Herranz, 'Virtual reality and its uses: a systematic literature review', in *Proceedings of the Fourth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, Salamanca Spain, Nov. 2016, pp. 435–439. doi: 10.1145/3012430.3012553.
- [17] S. Thompson, 'VR Applications: 21 Industries already using Virtual Reality', *Virtualspeech*, Dec. 11, 2020. <https://virtualspeech.com/blog/vr-applications> (accessed Jan. 10, 2022).
- [18] XinReality, 'Virtual Reality Use Cases', *Virtual Reality and Augmented Reality Wiki*, Oct. 18, 2017. [https://xinreality.com/wiki/Virtual\\_Reality\\_Use\\_Cases](https://xinreality.com/wiki/Virtual_Reality_Use_Cases)
- [19] K. Kelly, 'HYPER VISION', *Wired*, Apr. 2016. <https://www.wired.com/2016/04/magic-leap-vr/> (accessed Jan. 10, 2022).
- [20] XinReality, 'Inside-out tracking', *Virtual Reality and Augmented Reality Wiki*, Jul. 06, 2020. [https://xinreality.com/wiki/Inside-out\\_tracking](https://xinreality.com/wiki/Inside-out_tracking)
- [21] XinReality, 'Outside-in tracking', *Virtual Reality and Augmented Reality Wiki*, Feb. 20, 2018. [https://xinreality.com/wiki/Outside-in\\_tracking](https://xinreality.com/wiki/Outside-in_tracking) (accessed Jan. 23, 2022).
- [22] Meta, 'Oculus Quest 2', *oculus.com*, 2020. <https://www.oculus.com/quest-2/> (accessed Jan. 23, 2022).
- [23] Valve Corporation, 'Valve Index VR Kit', *store.steampowered.com*, 2022. <https://store.steampowered.com/sub/354231/> (accessed Jan. 23, 2022).
- [24] Varjo, 'Varjo Aero', *varjo.com*, 2021. <https://varjo.com/products/aero/> (accessed Jan. 23, 2022).
- [25] G2, 'Best Virtual Reality Software', *g2.com*, 2022. <https://www.g2.com/categories/virtual-reality>
- [26] D. Brutzman, 'X3D Graphics and VR', presented at the W3C Workshop, San Jose, Oct. 19, 2016. Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.web3d.org/sites/default/files/presentations/X3D%20Graphics%20and%20VR/X3dGraphicsVirtualRealityW3cWorkshop2016October18.pdf>
- [27] P. Gupta, 'CUDA Refresher: Reviewing the Origins of GPU Computing', *NVIDIA Developer Blog*, Apr. 23, 2020. <https://developer.nvidia.com/blog/cuda-refresher-reviewing-the-origins-of-gpu-computing/> (accessed Jan. 10, 2022).

# Literatur

- [28] NVIDIA, 'Pascal VR Tech', developer.nvidia.com, Jun. 23, 2016. <https://developer.nvidia.com/pascal-vr-tech>
- [29] NVIDIA, 'NVIDIA Omniverse', NVIDIA.com, 2022. <https://www.nvidia.com/en-us/omniverse/> (accessed Jan. 11, 2022).
- [30] NVIDIA, 'Omniverse Platform Overview', NVIDIA Omniverse Documentation, Jan. 11, 2022. [https://docs.omniverse.nvidia.com/plat\\_omniverse/plat\\_omniverse/overview.html](https://docs.omniverse.nvidia.com/plat_omniverse/plat_omniverse/overview.html) (accessed Jan. 11, 2022).
- [31] NVIDIA, 'Nucleus', Omniverse Docs, 2022. [https://docs.omniverse.nvidia.com/plat\\_omniverse/prod\\_nucleus/overview\\_external.html](https://docs.omniverse.nvidia.com/plat_omniverse/prod_nucleus/overview_external.html) (accessed Jan. 10, 2022).
- [32] NVIDIA, 'Connect Overview', Omniverse Docs, 2022. [https://docs.omniverse.nvidia.com/plat\\_omniverse/con\\_connect/overview\\_external.html](https://docs.omniverse.nvidia.com/plat_omniverse/con_connect/overview_external.html) (accessed Jan. 10, 2022).
- [33] NVIDIA, 'Kit Overview', Omniverse Docs, 2022. [https://docs.omniverse.nvidia.com/plat\\_omniverse/prod\\_kit/overview\\_external.html](https://docs.omniverse.nvidia.com/plat_omniverse/prod_kit/overview_external.html) (accessed Jan. 10, 2022).
- [34] I. Llamas, 'The Omniverse RTX Renderer', NVIDIA Blog, Apr. 2021. <https://www.nvidia.com/en-us/on-demand/session/gtcspring21-s31837/> (accessed Jan. 10, 2022).
- [35] NVIDIA, 'Simulation', Omniverse Docs, 2022. [https://docs.omniverse.nvidia.com/plat\\_omniverse/plat\\_omniverse/simulation.html](https://docs.omniverse.nvidia.com/plat_omniverse/plat_omniverse/simulation.html) (accessed Jan. 10, 2022).
- [36] NVIDIA, 'Nucleus Data Model', Omniverse Docs, 2022. [https://docs.omniverse.nvidia.com/prod\\_nucleus/prod\\_utilities/cache/overview.html](https://docs.omniverse.nvidia.com/prod_nucleus/prod_utilities/cache/overview.html)
- [37] NVIDIA, 'Packages, Requirements, Planning, and Preparation', Omniverse Docs, 2022. [https://docs.omniverse.nvidia.com/prod\\_nucleus/prod\\_nucleus/enterprise/installation/planning.html](https://docs.omniverse.nvidia.com/prod_nucleus/prod_nucleus/enterprise/installation/planning.html)
- [38] R. Merritt, 'To 3D and Beyond: Pixar's USD Coming to an Industry Near You', developer.nvidia.com, Oct. 05, 2020. <https://blogs.nvidia.com/blog/2020/10/05/usd-ecosystem-omniverse/> (accessed Jan. 23, 2022).
- [39] NVIDIA, 'NVIDIA Material Definition Language', 2022. <https://www.nvidia.com/en-us/design-visualization/technologies/material-definition-language/> (accessed Jan. 23, 2022).
- [40] H. Gould, J. Tobochnik, and W. Christian, An introduction to computer simulation methods: applications to physical systems, 3rd ed. San Francisco: Pearson Addison Wesley, 2007.
- [41] J. Huang, 'NVIDIA to Build Earth-2 Supercomputer to See Our Future', NVIDIA Blog, Nov. 12, 2021. <https://blogs.nvidia.com/blog/2021/11/12/earth-2-supercomputer/> (accessed Jan. 10, 2022).