Wilfried Grunau (Hrsg.)

Künstliche Intelligenz in Geodäsie und Geoinformatik

Potenziale und Best-Practice-Beispiele

2., völlig überarbeitete und erweitere Auflage

VDV-Schriftenreihe

Wichmann

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

Alle in diesem Buch enthaltenen Angaben, Daten, Ergebnisse usw. wurden von den Autoren nach bestem Wissen erstellt und von ihnen und dem Verlag mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Dennoch sind inhaltliche Fehler nicht völlig auszuschließen. Daher erfolgen die Angaben usw. ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie des Verlags oder der Autoren. Sie übernehmen deshalb keinerlei Verantwortung und Haftung für etwa vorhandene inhaltliche Unrichtigkeiten.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbeschreibungen etc. berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und von jedermann benutzt werden dürfen. Aus der Veröffentlichung kann nicht geschlossen werden, dass die beschriebenen Lösungen frei von gewerblichen Schutzrechten (z. B. Patente, Gebrauchsmuster) sind. Eine Haftung des Verlags für die Richtigkeit und Brauchbarkeit der veröffentlichten Programme oder Anleitungen sowie für die Richtigkeit des technischen Inhalts des Werks ist ausgeschlossen.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.dnb.de abrufbar.

ISBN 978-3-87907-768-7 (Buch)
ISBN 978-3-87907-769-4 (E-Book)

© 2026 Wichmann, eine Marke der VDE VERLAG GMBH · Berlin · Offenbach
Bismarckstr. 33, 10625 Berlin
www.vde-verlag.de
www.wichmann-verlag.de

Titelgrafik: KI-generiert (ChatGPT); Bearbeitung: Wilfried Grunau

Druck: Beltz Grafische Betriebe, Bad Langensalza
Printed in Germany 2026-06

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

Vorwort

Am Anfang war der Prompt – ein einfacher Input, der eine ganze Welt in Bewegung setzt. Mit diesem Impuls begann eine neue Ära der künstlichen Intelligenz, die unsere Vorstellungen von Geodäsie, Fernerkundung und Geoinformatik grundlegend verändert. KI ist längst nicht mehr Zukunftsmusik. Sie ist Realität, treibt Innovation und eröffnet völlig neue Möglichkeiten, globale Herausforderungen wie Klimawandel, nachhaltige Stadtentwicklung oder effiziente Ressourcennutzung anzugehen, und bietet gleichzeitig spannende Chancen für Forschung, Praxis und gesellschaftliche Verantwortung.

Die vollständig überarbeitete 2. Auflage von „KI in Geodäsie und Geoinformatik“ zeigt, wie diese Technologien heute bereits eingesetzt werden und welche Potenziale noch unerschlossen sind. Ein interdisziplinäres Team von 70 Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Industrie, Verwaltung und Praxis bringt gebündeltes Fachwissen, Erfahrungen und aktuelle Forschungsergebnisse zusammen. Sie erläutern nicht nur theoretische Grundlagen – von maschinellem Lernen über neuronale Netze bis hin zu Ansätzen sicherer und überprüfbarer KI – sondern präsentieren auch eine Vielzahl praxisnaher Anwendungen, die den direkten Bezug zur Geodäsie und Geoinformatik herstellen.

Die Bandbreite der vorgestellten Use Cases ist beeindruckend: Deep-Learning-basierte Gebäude- und Landbedeckungserkennung, Georeferenzierung hochauflösender Satellitenbilder, urbane Verkehrs- und Parkraumanalysen, Forst- und Infrastrukturmonitoring sowie die Nutzung multimodaler Daten, die Raum, Zeit, Bild und Text verbinden, zeigen die vielfältigen Möglichkeiten moderner KI. Diese Beispiele verdeutlichen, dass KI längst ein aktiver Gestalter der Geodäsie ist, und eröffnen zugleich Perspektiven für neue, innovative Anwendungen, die unser Berufsbild nachhaltig verändern.

Gleichzeitig macht die Neuauflage deutlich: Die Geodäsie steht nicht vor einer völlig neuen Herausforderung. Erfahrungen aus früheren Technologiewellen bilden eine solide Basis, auf der sich KI erfolgreich integrieren lässt. Entscheidend ist jetzt, die richtigen Weichen zu stellen, insbesondere in der Aus- und Weiterbildung, um die Chancen der KI bewusst zu nutzen, Kompetenzen auszubauen und die Transformation des Berufsfeldes aktiv mitzugestalten.

Dieses Buch versteht sich daher als Leitfaden, Inspirationsquelle und Diskussionsplattform zugleich. Es lädt Fachleute, Studierende und alle Interessierten ein, die Möglichkeiten der KI zu erkunden, kritisch zu hinterfragen und die Zukunft der Geodäsie und Geoinformatik aktiv zu gestalten. Es bietet Orientierung, zeigt Chancen auf, dokumentiert den Stand der Technik und macht deutlich, wie weitreichend die Auswirkungen von KI auf das gesamte Berufsfeld bereits heute sind.

Mein besonderer Dank gilt allen Autorinnen und Autoren, deren Expertise, Engagement und Erfahrung diese 2. Auflage erst ermöglicht haben. Ohne ihre Mitwirkung wäre dieses Buch nicht realisierbar gewesen.

Edewecht, im April 2026 *Wilfried Grunau*

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

13 KI: Von „Wort und Bild“ zu „Raum und Zeit“

Thomas Scheibel

Warum geospatiale Zeitreihendaten der Schlüssel zum Erfolg der nächsten Generation künstlicher Intelligenz (KI) sind.

13.1 Zusammenfassung

Mit der Nutzung von Large Language Models (LLMs) wie ChatGPT oder Perplexity ist künstliche Intelligenz endgültig im Mainstream angekommen. Doch kaum sind die Möglichkeiten der Sprach- und auch Bildverarbeitung erschlossen, kündigt sich bereits die nächste transformative Entwicklung an: *Spatial Intelligence*. Diese basiert auf sogenannten Large World Models (LWMs) und erweitert die digitale Dimension von Bild und Sprache um Raum und Zeit.

In diesem Kapitel wird die These entwickelt, dass geospatiale Zeitreihendaten (GZRD) der Schlüssel für die zukünftige Leistungsfähigkeit industrieller KI-Anwendungen sind, insbesondere im Kontext dynamischer, nichtstationärer Prozesse aller Art und der Kreislaufwirtschaft. Entscheidungen über Ressourcen, Materialflüsse und Logistikketten hängen zunehmend von der Fähigkeit ab, dynamische Datenströme in Echtzeit zu erfassen und kontextsensitiv auszuwerten.

Im Zentrum steht das Konzept eines Optimierungsparadoxons: Während stationäre Systeme Effizienzplateaus erreichen können, ist dies in nichtstationären, offenen Prozessen unmöglich; Märkte, Preise, Teilnehmer und Geografien verändern sich permanent. Die Konsequenz: Künstliche Intelligenz erreicht hier nie ein dauerhaftes Optimum, sondern ist strukturell auf kontinuierliches schubhaftes Lernen ohne Endpunkt angewiesen.

Die Arbeit verknüpft eine akademisch-systematische Analyse mit plakativen Anschauungen aus Wirtschaft und Technik. Damit wird sichtbar: Ohne kontinuierlich erzeugte geospatiale Zeitreihendaten bleibt die industrielle KI blind – mit ihnen eröffnet sich aber auch die nächste industrielle Epoche erst wirklich.

13.2 KI: von Large Language zu Large World Models

„Kaum da – kommt schon die nächste!“ Dieses Schlagwort bringt es auf den Punkt: Obwohl Sprachmodelle wie GPT inzwischen als selbstverständlicher Bestandteil von Alltag und Wirtschaft erscheinen, ist ihre Innovationskraft keineswegs Endstation. Denn die Welt, mit der Gesellschaften tatsächlich umgehen, besteht nicht allein aus Worten und Bildern. Sie ist räumlich, zeitlich, dynamisch – voller Bewegung.

Diese Dimension nimmt die neue Generation der KI in den Blick: *Large World Models* (LWMs) bilden die Welt nicht als Sprachstrom oder Bilderfolgen ab, sondern als interaktive, dynamische Raum-Zeit-Systeme.

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

Die treibenden Kräfte hinter dieser Verschiebung sind wohlbekannte Akteure: Fei-Fei Li, die Visionärin des maschinellen Sehens und ehemalige Aufsichtsrätin von Bayer, bündelt Kapital von Nvidia und Stanford in das Projekt *WorldLabs*. Unternehmen wie Planet Labs oder BlackSky nutzen Satellitenbilder, um Veränderungen in der Erdoberfläche dynamisch sichtbar zu machen. Andere Akteure wie Flypix AI oder Niantic Spatial arbeiten daran, georäumliche Kontexte direkt für Mensch-KI-Interaktionen nutzbar zu machen.

Ein Blick auf Publikationen wie *geoawesome.com* illustriert die Geschwindigkeit des Umbruchs. Hier werden täglich neue Anwendungen präsentiert: von globaler Umweltmonitoring-Infrastruktur bis hin zu Spielen und Drohnennavigation in Echtzeit.

Das bedeutet daher: Ohne Geodaten keine spatiale Intelligenz – und ohne geospatiale Zeitreihendaten (GZRD) keine resiliente industrielle, logistische und handelsrelevante KI.

13.3 Stationäre Prozesse: Erfolge und Grenzen

Die ersten großen Durchbrüche industrieller KI vollzogen sich in abgeschlossenen, kontrollierbaren Umgebungen. Digitale Zwillinge und virtuelle Fabriken erlaubten es, Produktions- und Montageprozesse zu simulieren, Parameter exakt durchzurechnen und dadurch signifikante Effizienzgewinne zu erzielen.

Typisch für diese Systeme ist ihre stationäre Natur: Die physikalischen Eigenschaften bleiben konstant, Abläufe wiederholen sich in stabilen Mustern, externe Einflüsse werden weitgehend ausgeschlossen. Genau diese kontrollierte Umgebung ermöglichte es, KI anzuwenden und sichtbare Resultate zu erzielen.

Doch dieser Erfolg hat eine Grenze. Denn: Mit zunehmender Optimierung zeigen sich Sättigungseffekte. Die Grenzerträge weiterer Verbesserungen sinken, Innovationen werden in kürzester Zeit zu allgemeinen Standards, Patente haben es schwer, und der strategische Vorteil einzelner Akteure schmilzt.

Das Fazit hier lautet: Die Fabrik ist ausoptimiert – die Welt außerhalb ist das neue Feld des Wettbewerbs.

13.4 Wirtschafts-KI für nichtstationäre offene Prozesse

Diese nichtstationären Systeme sind durch kontinuierliche Veränderungen, externe Einflussfaktoren sowie fragmentierte Eigentums- und Regulierungsstrukturen geprägt. Sie stellen eine permanente Lernherausforderung für KI dar: Effizienzfortschritte sind hier nicht dauerhaft in physikalischen Eigenschaften oder Materialkonstanten verankert, sondern bedürfen fortwährender Anpassung an systemische Dynamiken, die stark von menschlicher Intervention bestimmt sind. Ein Lernen ohne Sättigung.

Entscheidend ist, dass in nichtstationären, offenen Prozessen ein dauerhaftes Effizienzoptimum unerreichbar bleibt. Jede einmal erreichte Konfiguration stellt lediglich ein temporäres Gleichgewicht dar, das durch veränderte Marktbedingungen (z. B. Nachfrageverschiebungen, Preisdynamiken), durch neu eintretende Akteure oder durch sich wandelnde regulatorische und geografisch-räumliche Rahmenbedingungen sofort wieder infrage gestellt wird.

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

Künstliche Intelligenz kann diese Veränderungen zwar im Zeitverlauf adaptiv nachvollziehen, doch liegt sie im Kern stets einen Schritt hinter der Realität zurück. Was einmal gelernt wurde, verliert seine Gültigkeit, sobald sich Input- und Umweltbedingungen ändern. Damit entsteht eine fortwährende Schleife aus Datenaufnahme, Modellanpassung und erneuter Optimierung.

Dies führt zu einem strukturellen „Optimierungsparadox“: Die KI strebt permanent nach Effizienz, erreicht aber nur Annäherungswerte an ein sog. „Moving Target“, die spätestens in dem Moment, in dem sie stabil erscheinen, bereits wieder von neuen Kontextbedingungen überlagert werden. Daraus resultiert eine beständige Abhängigkeit von qualitativ hochwertigen, kontinuierlich sich selbst aktualisierenden Datensätzen. Nur wenn geospatiale Zeitreihendaten in ausreichender, aber auch nur hinreichender Dichte und Aktualität vorliegen, erhält die KI die Möglichkeit, ihr jeweiliges Anpassungsdefizit zu minimieren – ohne es jedoch je gänzlich überwinden zu können. (Im Unterschied zu Sisyphus muss die KI – bildlich gesprochen – nicht immer wieder ein und den gleichen Berg, sondern sich ständig bewegende Sanddünen beim Voranschreiten erklimmen.)

Diese Erkenntnis wirft fundamentale Fragen und Anforderungen an die Architektur industrieller KI-Systeme auf. Sie verlangen nach einer permanenten Datenversorgung, die weit über zeitlich begrenzte oder sporadische Datenerhebungen hinausgeht. Insbesondere geospatiale Zeitreihendaten (GZRD) werden hier zu unverzichtbaren Basisinformationen, da sie den räumlichen und zeitlichen Wandel der Prozessobjekte und Ressourcen abbilden und in die Optimierung einfließen lassen.

In Konsequenz heißt dies: Die Zukunft industrieller KI liegt im Management und in der Nutzung dynamischer, hochfrequenter, georäumlicher Daten. Die Optimierung stationärer Prozesse hat ihre Grenzen erreicht; marktfähige Differenzierung und nachhaltige Effizienzgewinne werden ausschließlich in der Beherrschung nichtstationärer Systemkomplexität und im Umgang mit dem Optimierungsparadoxon gefunden werden.

Wo sind heute die Pfadfinder in der Industrie und Wirtschaft, die heute schon elementar auf räumliche Verortung ihrer Gegenstände angewiesen sind? Natürlich vor allem in der Logistik und im Supply Chain Management, aber auch im wachsenden Rahmen all diejenigen, die Verantwortung für Produkte von der „Wiege bis zur Bahre“ übernehmen wollen und müssen: Kreislaufwirtschaft!

13.5 Kreislaufwirtschaft als Antreiber

Die Kreislaufwirtschaft stellt ein Paradigma dar, das klassische lineare Produktionslogiken durch eine neue, zirkuläre Denkweise ersetzt. Während im industriellen Zeitalter das Primat auf Menge, Geschwindigkeit und Preis gerichtet war – die Produktion also in einem klar definierten Input-Output-Schema erfolgte und Abfälle als Endpunkt galten –, fordert die Kreislaufwirtschaft, Produkte und Materialien im Umlauf zu halten.

Die Diskussion über die Kreislaufwirtschaft verengt sich jedoch in der Praxis oft auf das Schlagwort Recycling. Dabei ist Recycling nichts anderes als ein Prozess der Auflösung: Materialien werden zerstört, in Grundstoffe zerlegt und in verminderter Qualität in neue Produktionsketten eingespeist. Zwar ist Recycling ein unverzichtbarer Baustein nachhaltiger Ökonomie, doch er markiert stets einen Neuanfang im Datenfluss.

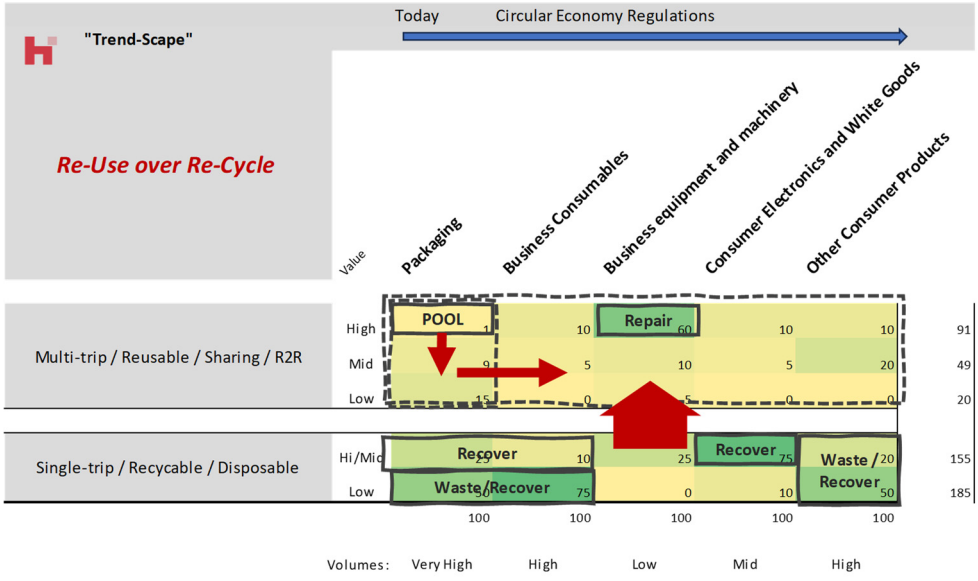
www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

Denn mit der Zerstörung eines Produkts wird auch seine Datengeschichte ausgelöscht. Jede geospatiale Zeitreihe, die über die Nutzung, den Umlauf, die Kundeninteraktion geführt wurde, endet abrupt. Das Objekt hört auf zu existieren, und mit ihm endet auch die Kontinuität seiner historischen Daten. Jedes recycelte Material beginnt datenseitig wieder bei null.

Im Gegensatz dazu bedeutet Wiederverwendung (Reuse) eine Kontinuität der Geodatenhistorie. Paletten, Werkzeuge oder Geräte, die mehrfach genutzt werden, erzeugen eine durchgehende Datenreihe über lange Zeiträume. Diese Kontinuität eröffnet eine Reihe von Vorteilen:

- Finanzierung: Ein wiederverwendetes Gut lässt sich über Datenhistorien besser bewerten und finanzieren. Banken, Leasingunternehmen oder Investoren können Risiko und Nutzungsdauer einschätzen, weil Daten über vergangene Zyklen vorliegen.
- Kundenbindung: Wiederverwendung ermöglicht Services auf Basis langfristiger Objektbeziehungen. Wer weiß, wo ein Gut ist, wie es genutzt wurde und an wen es weitergegeben wurde, kann maßgeschneiderte Serviceangebote entwickeln.
- Verantwortlichkeit (Accountability): Eine kontinuierliche Datenhistorie schafft Transparenz für Unternehmen und Politik. Sie erlaubt es, Verantwortlichkeiten entlang komplexer Liefer- und Nutzungsketten nachvollziehbar zu machen.
- Nachhaltigkeitsberichte: Unternehmen können nur dann glaubhaft Belege für Ressourceneffizienz und CO_2-Einsparungen liefern, wenn eine durchgehende Datenbasis steht.

Der fundamentale Unterschied zwischen Recycling und Reuse lässt sich somit datenlogisch formulieren: Recycling löscht Daten – Reuse bewahrt Daten.



Notes: Reusables at mid and low value do exist only in particular areas due to cost of return management (pooling)
Low value items either recycable, energy recoverable or general waste
Recovery includes also energy recovery through burning (declining)
Recover means to recover raw material, but requires re-fabrication (if at all possible)
R2R: Right to Repair

Abb.13.1: Re-Use over Re-Cycle (eigene Darstellung)

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

Aus dieser Perspektive wird deutlich, warum Wiederverwendung die eigentliche strategische Option der Kreislaufwirtschaft ist. Sie erlaubt nicht nur Ressourceneinsparung, sondern schafft auch Wissenskontinuität, die über viele Nutzungszyklen hinweg Mehrwerte generiert.

Oder prägnanter verdichtet: Reuse ist besser als Recycle – weil nur Reuse die Kontinuität der GZRD schafft, die Finanzierungen erleichtert, Verantwortlichkeiten sichert und Kundenbindungen stärkt.

Die Implikation für industrielle KI liegt auf der Hand. Während stationäre Systeme Optimierungen entlang fester Prozessketten zulassen, eröffnet die Kreislaufwirtschaft eine Landschaft aus permanent veränderlichen Flüssen. Materialien treten in den Kreislauf ein, zirkulieren, verlassen ihn zu unterschiedlichen Zeitpunkten, tauchen nach Reparatur oder Refurbishment in neuer Gestalt wieder auf. Logistikketten, die bislang linear verliefen, verzweigen sich in Rückführungen, Umleitungen, Recyclingströme.

Das Entscheidende: Diese Prozesse lassen sich nicht im Vorhinein mit statischen Matrizen festschreiben. Sie sind kontextabhängig, differenziert nach Standorten, Branchen, Materialtypen. Sie sind darüber hinaus grundlegend unsicher, weil sie von Nutzungsverhalten, von gesetzgebenden Rahmenbedingungen oder schlicht vom Zufall abhängen. Jede Optimierung ist folglich permanent neu auszurichten.

Hier wird das Optimierungsparadox in der Praxis besonders deutlich. Während ein industrielles Produktionsband eine Effizienzsteigerung durch präzise definierte Stellschrauben erfahren kann, lassen sich Kreislaufprozesse überhaupt nur adaptiv steuern. Sobald ein Prozess optimiert scheint, tritt ein Störfaktor ein: Lagerkapazitäten schwanken, Nachfragezyklen ändern sich, Standards in der Wiederaufbereitung variieren. Die KI, die diese Prozesse begleiten soll, muss flexibel, lernfähig und in der Lage sein, kontinuierlich neue Datenpunkte zu verarbeiten.

13.6 Geospatiale Zeitreihendaten: Ressourcen, Kosten und Wahrscheinlichkeiten

Wenn Kreislaufwirtschaft zur permanent dynamischen Veranstaltung wird, dann ist die Evidenz, auf der Optimierung basieren kann, der entscheidende Rohstoff. Geospatiale Zeitreihendaten (GZRD) liefern die nötige Perspektive, weil sie Bewegungen nicht punktuell, sondern als zeitlich kontextualisierte Ströme sichtbar machen.

Dabei ist die Frage, wie diese Daten erhoben werden, nicht trivial. Klassische Geodaten – Geländeaufnahmen, Karten, Kataster – sind in Hülle und Fülle vorhanden. Sie beschreiben die Topologie der Welt, aber nicht ihre Bewegungen. Für die industrielle Praxis sind jedoch gerade Dinge in Bewegung die entscheidende Größe: Paletten, Container, Werkzeuge, Fahrzeuge, Kleidungsstücke, Maschinen.

Ihre Erfassung aber hat einen Preis. Sie erfordert Sensorik, Netze, Energie. Während das Tracking über Smartphones scheinbar kostenlos erscheint, weil die Infrastruktur längst vorhanden ist, verbirgt sich auch hier ein massiver Aufwand im Hintergrund: Werbeindustrien stützen sich auf den Handel mit Bewegungsdaten, und dieser Markt zeigt, dass „kostenlos“ in Wahrheit ein komplexes Transfersystem von Geld und Aufmerksamkeit bedeutet.

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

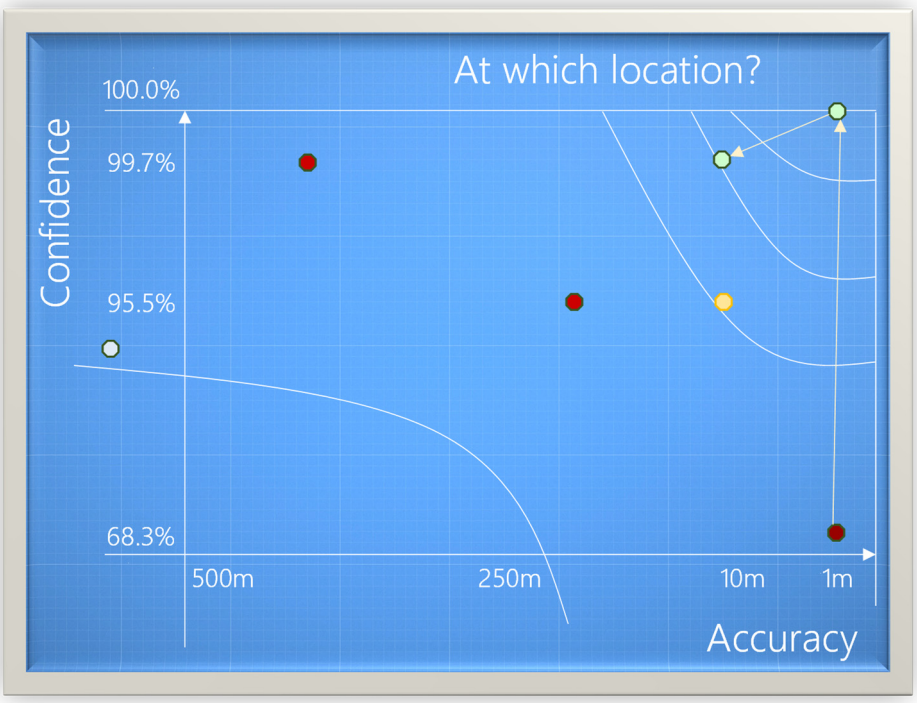


Abb. 13.2: Zusammenhang Kosten der Geodatenerhebung (eigene Darstellung)

Sobald jedoch Objekte ohne eigenes Kommunikationssystem beobachtet werden müssen – Container ohne Motor, Paletten, Werkzeuge –, treten die Kosten schnell zutage. Ein Sensor muss angebracht werden, ein Netz die Kommunikation sichern, ein Server die Auswertung leisten. Je genauer und öfter eine Position verlangt wird, desto höher der Aufwand.

Daraus ergibt sich die praktische Schlussfolgerung, Ortung nicht als absolutes Faktum, sondern als Wahrscheinlichkeitsraum zu verstehen. Muss die Position einer Palette wirklich alle fünf Minuten auf den Meter genau bekannt sein? Oft reicht es aus, eine ungefähre geographische Zone mit definierter Wahrscheinlichkeit zu bestimmen.

Beobachten heißt beeinflussen
An dieser Stelle lässt sich eine erkenntnistheoretische Parallele ziehen, die den ökonomischen Befund erhellt. Bereits die Quantenmechanik formulierte über die von Werner Heisenberg eingeführte *Unschärferelation*, dass der Akt der Beobachtung ein System nicht neutral erfasst, sondern dessen Zustand selbst beeinflusst. Je genauer die Messung einer Größe (beispielsweise der Ort eines Teilchens), desto unschärfer bleibt eine andere (in der Quantenphysik etwa der Impuls).
Übertragen auf die Logik geospatialer Zeitreihendaten in ökonomischen Prozessen zeigt sich ein analoger Mechanismus: Je genauer und häufiger die Beobachtung (Ortung) erfolgt, desto höher sind die Kosten dieser Präzision – und desto massiver verändert diese „Messung" das betrachtete System selbst. Der Versuch, maximale Genauigkeit zu erzwingen, zerstört im Extremfall das Prinzip der Wirtschaftlichkeit, das eigentlich das ordnende Ziel des Systems bildet.

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

Das bedeutet: Die Balance zwischen *beobachten* und *bewahren* muss neu ausgehandelt werden. Zu geringe Datentiefe macht Systeme blind; zu hohe Messfrequenz unterminiert die Robustheit ökonomischer Abläufe, weil die Kosten der Messung jene der eigentlichen Optimierung übersteigen (und etwaiges notwendiges menschliches Eingreifen zu „nicht dokumentierten Optimierungsprozessen“ führt, z. B Bulkscanning zur falschen Zeit am falschen Ort, um Standzeiten zu minimieren).
Genau wie in der Heisenbergschen Unschärfe gilt: Es existiert kein „absoluter“ Präzisionspunkt; vielmehr muss jede Messung im Spannungsfeld zwischen Erkenntnisgewinn und Systembelastung austariert werden.

Je nach Prozessanforderung genügt eine differenzierte Granularität – hochgenau dort, wo Interventionen nötig sind, grob dort, wo Prozesse robust auf Abweichungen reagieren können. Auch wenn dies schlüssig erscheint, kann der Autor aus eigener Erfahrung berichten, dass dies kundenseitig eine erhebliche Anpassung im Denken und Management sehr wichtiger, aber linearer Prozesse erfordert.

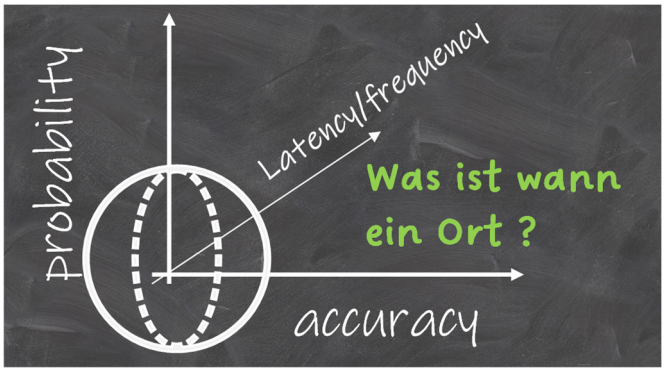


Abb. 13.3: Ort als pfadspezifische Wahrscheinlichkeitswolke (eigene Darstellung)

Dieses Denken in Wahrscheinlichkeitswolken senkt Kosten und erlaubt eine proportionale, wirtschaftlichere Gestaltung von Tracingprozessen. Datenakquise wird so nicht zum Selbstzweck, sondern auf einen Wert-Kosten-Punkt hin optimiert.

13.7 Praxisfeld: nichtmotorisierte Dinge in Bewegung

Die ökonomische Brisanz geospatialer Zeitreihendaten lässt sich anhand konkreter Zahlen illustrieren. In Europa befinden sich schätzungsweise über sieben Milliarden Mehrweg-Ladungsträger – Paletten, Kisten, Fässer und Container – dauerhaft im Umlauf. Hinzu kommen Werkzeuge und mobile Geräte, Fahrzeuge und Produktionsmittel, Kleidung und Gebrauchsgüter, die nicht selten ausgeliehen, vermietet, geteilt oder zwischen Betrieben rotieren.

Das Wissen, wo sich diese Objekte befinden, entscheidet über ganze Geschäftsmodelle. Fehlt es an Transparenz, häufen sich Ineffizienzen: Materialien stehen am falschen Ort bereit, Umlaufkapital bindet sich unnötig, Recyclingflüsse stocken, Versicherungskosten steigen.

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

Ein anschauliches Beispiel bietet die Logistik. Das klassische Paradigma verlangt, möglichst jedes Objekt eindeutig identifizierbar und permanent „traceable“ (verfolgbar) zu machen. Barcodes, QR-Codes, RFID-Chips oder Bluetooth-Tracking erfüllt diese Funktion in wachsendem Maße. Doch diese Systeme haben Grenzen: Sie stoßen an Reichweitenlimitierungen, kosten Energie oder lassen sich bei massenhafter Anwendung nur schwer skalieren.

Ein alternatives Paradigma setzt auf probabilistische Geodaten. Anstatt jedes Objekt in höchster Frequenz teuer zu lokalisieren, werden Wahrscheinlichkeitsräume konstruiert: ein bestimmter Bereich, in dem sich ein Objekt mit hoher Wahrscheinlichkeit befindet. Ergänzt man dies mit Zeitstempeln und Prozesslogiken, entsteht nicht weniger, sondern sogar mehr operative Verlässlichkeit – weil Prozesse nicht mit einem Übermaß irrelevanter Daten überfrachtet werden, sondern mit dem richtigen Maß an Unsicherheit belastbar bleiben.

Interessante Beispiele sind die zunehmende aktive Digitalisierung von Ladungsträgern aller Art, die über Strichcode und RFID-Tagging hinausgehen. Dazu zählen Einkaufswägen, Rollkäfige, Palletten, Gebinde sowie sogenannte Smart Labels, die es ermöglichen, Lieferung aktiv zu verorten, ohne gleich jeweils komplexe, störanfällige und energiehungrige GPS-Systeme einzubauen.

Insbesondere durch die Anwendungen von KI kann man im sog. LPWAN-Bereich (Low Power Wide Area Network, wie etwa Mioty, Sigfox, Lora, Sidewalk oder Helium) eine „virtuelle“ detaillierte Radiolandschaft abbilden, auf die dann die Rohdaten der aktiven Tracker gespiegelt werden, um dann die genaue Position mittels KI abzuleiten (nicht mittels Triangulierung, sondern mittels etwa eines KNN-Algorithmus. Das heißt z. B., dass man GPS-Genauigkeit auch ohne GPS jederzeit rekonstituieren kann, soweit diese Umgebung einmal maschinell „gelernt“ wurde (man denke etwa an eine Google StreetCar-Visualisierung). Im Ergebnis führt dies dazu, dass zeitlich versetzte, sehr günstig zu erzeugende Radiosignale mit der gleichen Genauigkeit verortet werden könnten, als ob ein sehr teures GPS-Signal mitverarbeitet worden wäre.

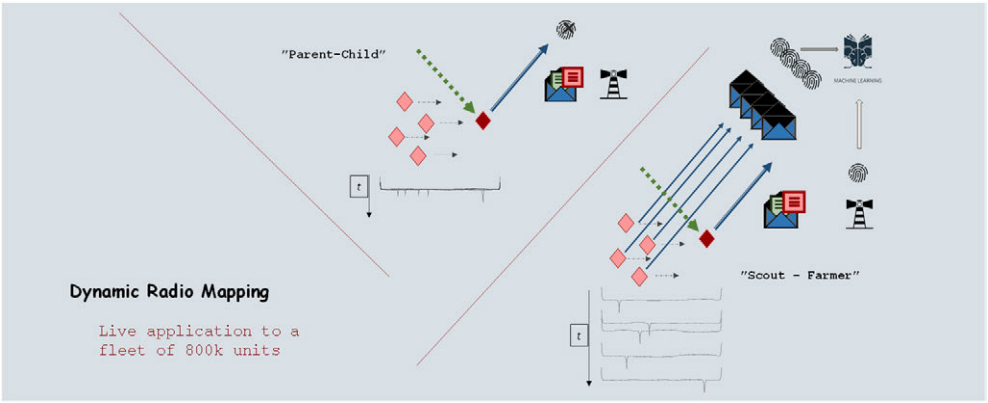


Abb. 13.4: Anwendung des KNN-Algorithmus (eigene Darstellung)

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

Abb. 13.5: Beispiel der Verfolgung von Ladungsträgern in Europa (Heliot Europe GmbH)

Kunden, die diese LPWAN-Systeme heute bereits europaweit nutzen, sind Unternehmen wie etwa DHL/Deutsche Post, Planzer oder auch die österreichische Post und die sog. Pooler von Ladungsträgern aller Art sowie Automobilhersteller und -zulieferer. Insbesondere im Pooling-Bereich gibt es eine grundsätzliche Bewegung hin zu mehr pfadgebundener Sicht-

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

barkeit aller Ladungsträger, wie etwa bei CHEP, Tosca oder auch IFCO, und weg von nur punktueller Inventarisierung. Diese Unternehmen zusammen etwa betreiben Pools von Ladungsträgern für über eine Milliarde Objekte weltweit. Hierbei ist es absolut ausreichend, eine ungefähre Position regelmäßig zu erhalten, dies aber vor allem so günstig wie nur irgend möglich. Hier zeigt sich eine entscheidende Wende: Zu viele Daten sind nicht gleichbedeutend mit besserer Steuerung. Manchmal ist ein „fuzzy" Datenmodell ökonomisch und operativ überlegen.

13.8 Integration von geodätischen und pfadbasierten Geodaten

Die klassische Sicht auf Geodaten stellt sie als Abbild eher „statischer Geländekammern" dar – als räumlich definierte Zonen, innerhalb derer Veränderungen festgestellt und dann interpretiert werden. Dieses Bild greift insofern zu kurz, als moderne geodätische Verfahren mittels Satelliten heute hochfrequente Beobachtungen ermöglichen, die durchaus zur Rekonstruktion von Pfaden und Bewegungen in feinster Detailtiefe taugen.

Allerdings sind solche indirekten, satellitenbasierten Pfadrekonstruktionen meist mit deutlich höheren Kosten, komplexer Infrastruktur und geringer Flexibilität verbunden. Im Gegensatz dazu liefern aktive, sensorbasierte Systeme, die Objektpositionen direkt erfassen, vergleichsweise preiswerte und kontinuierlich verfügbare pfadbasierte Geodaten, die dynamisch und in Echtzeit den „Vordergrund" der Objektbewegung vor dem „Hintergrund" der Geländekammer abbilden.

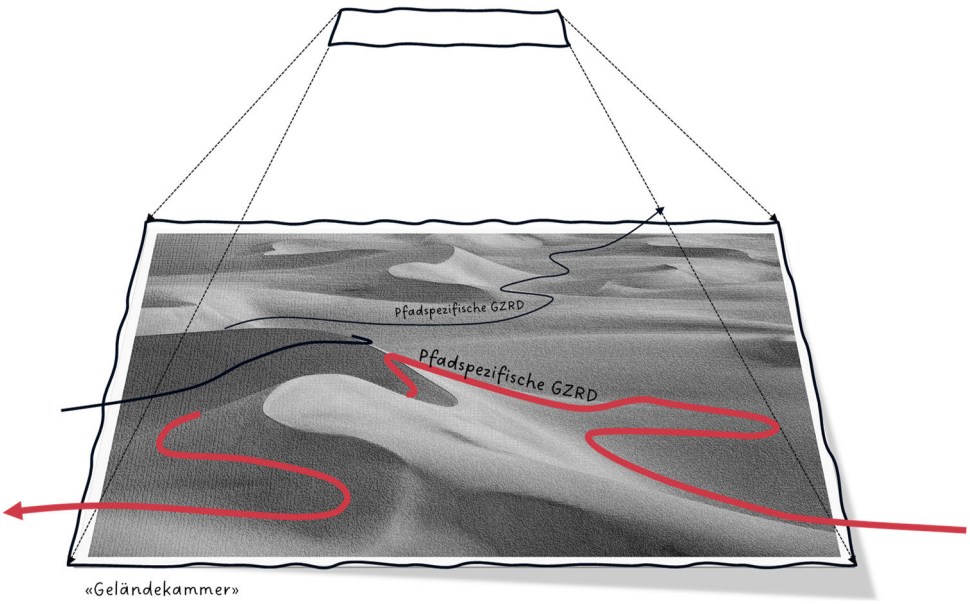


Abb. 13.6: Kombination von statischen und pfadspezifischen Geodaten (eigene Darstellung)

Für eine umfassende, praxisnahe Geospatial Intelligence empfiehlt sich deshalb eine Integration beider Datenwelten im Backend:

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

- Die geodätischen Grunddaten bilden den statischen, präzisen Hintergrund, der Kontext, Grenzen und Basisinformation zur Verfügung stellt.
- Die pfadbasierten GZRD steuern den dynamischen Vordergrund, in dem sich Objekte bewegen, agieren und aktualisiert werden müssen.

Diese Kombination ermöglicht es, die Robustheit und Genauigkeit der geodätischen Daten mit der Flexibilität und Aktualität dynamischer Bewegungsdaten zu vereinen, um so die vielschichtigen Anforderungen industrieller Anwendungen zu erfüllen.

13.9 Resilienz ist Einfachheit

Eng mit dieser Überlegung verbunden ist die Frage nach Resilienz. Nachhaltige Systeme, die nicht nur kurzfristige Optimierungen, sondern dauerhafte Stabilität beabsichtigen, neigen zur Vereinfachung. Komplexe Systeme sind fragil; einfache Lösungen sind robuster. Hinzu kommen neueste geopolitische Entwicklungen, welche die Verlässlichkeit und Verfügbarkeit nichtterrestrischer Verortungsmethoden zumindest teilweise in Raum und Zeit infrage stellen können.

Für GZRD bedeutet dies: Je einfacher die Sensorik, je kleiner der Energieverbrauch, je weniger Infrastrukturabhängigkeit, je terrestrischer – desto größer die Resilienz. Systeme, die durch eine Flut an integrierten Parametern überlastet werden – Temperatur, Schockresistenz, Lichtmessung, Geschwindigkeit –, verlieren ihre Robustheit. Es genügt, zentrale Kernfragen zu beantworten: *Wo ist etwas – und wie viele davon existieren im System?*

Diese Reduktion auf essenzielle Fragen erlaubt, technische Lösungen zu konstruieren, die wirtschaftlich und nachhaltig bleiben.

Resilienz bedeutet damit auch: Weg von überkomplexen Clouds, hin zu lokalen, autonomen Lösungen. Weniger Datentransport, weniger Sicherheitsrisiken, geringere Abhängigkeit von globalen Infrastrukturen.

Aus dieser Perspektive lässt sich ein Leitfaden ableiten: Resilienz liebt das Einfache.

13.10 Datenpooling und Wettbewerb?

Es bleibt die Frage, wie GZRD im Wettbewerb integriert werden können. Grundsätzlich gilt: Daten sind Macht. Besonders wertvoll sind jene Daten, die Unternehmen in ihrer operativen Stärke sichern. Die Bereitschaft, diese Daten zu teilen, ist gering – selbst, wenn ein theoretisches Gesamtoptimum durch Integration erreichbar wäre.

Das Paradox ist offensichtlich: Genau die Daten, die geteilt werden müssten, um systemische Effizienz zu erzielen, sind jene, die ein Unternehmen für seine Differenzierung und seinen Vorsprung benötigt. Ohne einen klar ausgewiesenen Nutzen oder Profitanreiz ist freiwillige Kooperation daher unwahrscheinlich.

Eine Teillösung könnte über Rückversicherer entstehen. Versicherungen sind strukturell darauf angewiesen, Daten über Risiken und Schadenshäufigkeiten breit zu aggregieren. Sie verfügen zudem über ein Mandat, solche Daten im Gegenzug gegen Prämiengestaltung einzufordern. Auf diese Weise könnten Rückversicherer zu Aggregatoren von GZRD werden, die

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251

systemischen Risiken evaluieren und über Preismechanismen an Unternehmen zurückspielen. Dennoch sind immer wiederkehrende Ansätze nicht nur zu Standardisierung, sondern zum Datenpooling und -sharing zu Recht zum Scheitern verurteilt.

Denn auch hier bleibt die Problematik: Solange der individuelle Nutzen nicht klar erkennbar ist, bleibt der Anreiz zur umfassenden Datenfreigabe beschränkt. Insofern wird GZRD auch künftig stark von proprietären Lösungen, Inseln und Teilsystemen geprägt bleiben – und das ist gut so, weil das immer noch effizienter ist, als nichts zu tun.

13.11 Dynamik als Strukturprinzip – der „Pfad durch die Kammer“ als Lösung

Die Diagnose ist eindeutig: Die wirtschaftliche KI-basierte Optimierung der Zukunft erfolgt nicht nur in stationären, kontrollierbaren Systemen allein, sondern auch in offenen, dynamischen, nichtstationären Prozessen. Das Optimierungsparadox markiert die zentrale Einsicht: Künstliche Intelligenz wird nie ein dauerhaftes Optimum erreichen können. Sie bewegt sich in einer Welt fortwährender Veränderungen, in der jeder erreichte Zustand unmittelbar wieder überholt wird. Ihre Aufgabe ist es folglich, nicht den Endzustand zu steuern, sondern einen permanenten Prozess von Anpassung und Lernen zu organisieren.

Geospatiale Zeitreihendaten bilden den unverzichtbaren Rohstoff dieser fortdauernden Lernphasen. Sie liefern eine dynamische, kontextbezogene Datenbasis, die es erlaubt, möglichst nahe an das sich verschiebende Ziel heranzukommen und die Lücke zwischen Modell und Wirklichkeit kleinzuhalten. Ohne solche Daten verharrt die industrielle KI bestenfalls in historischen oder statischen Modellen – mit ihnen jedoch kann sie flexibel, adaptiv und robust in komplexen realen Systemen agieren.

Ein Schlüsselelement für die erfolgreiche Nutzung dieser Daten besteht in der Integration zweier sich ergänzender Datenwelten:

- Zum einen sind dies die geodätischen Grunddaten, präzise, hochaufgelöste und validierte Messungen der „festen“ Geographie – die „statischen Geländekammern“, welche politische, administrative und natürliche Grenzen abbilden und den strukturellen Kontext liefern.
- Zum anderen handelt es sich um pfadgenerierte Daten, also aktive, sensorbasierte Aufzeichnungen von Bewegungen, Umläufen und Veränderungen in Fast-Echtzeit – den dynamischen Vordergrund, in dem sich Produktionsmittel, Produkte, Werkzeuge und Menschengruppen bewegen.

Die Integration beider Datenquellen im Backend ermöglicht eine „Geospatial Intelligence“, die sowohl präzise als auch flexibel ist, den statischen Rahmen mit dem lebendigen Prozess verbindet und so den vielschichtigen Anforderungen zukünftiger industrieller Anwendungen gerecht wird.

Fazit: **Die Fabrik ist ausoptimiert – die Welt bleibt ein offenes Feld.** Wer sowohl geländebasierte Präzision als auch pfadbasierte geospatiale Zeitreihendaten erwirbt und kombiniert, wird die nächste industrielle Revolution profitabel mitgestalten können.

www.vde-verlag.de - Heliot Europe GmbH ID - 14251