

Wolkenbilder und Punktwolken

Virtual landscaping als Umgang mit dem Flüchtigen

Alex Wynne Schmiedel

Der folgende Beitrag untersucht, welche neuen Zugänge sensormediale virtuelle Landschaften hervorbringen. Daran schließt sich eine für den Band grundlegende Fragestellung an: Was wird aufgedeckt und verborgen, wenn Orte zugänglich werden, die sich der Lebenswelt von Betrachtenden entziehen, jedoch real sind? Mit den sensormedialen virtuellen Landschaften sind solche gemeint, die im Wechselspiel physischer und digitaler Umgebungen mittels maschinischer Sensorwahrnehmung produziert werden; die eben jenem Prinzip des Aufdeckens von Verborgenen und Verborgensemachen von sonst Wahrnehmbarem unterliegen. Maschinell hervorgebrachte virtuelle Landschaften durchziehen unseren globalen Alltag polyvalent: »Virtual landscapes dominate our daily lives in many ways, as for example based on satellite images, providing information for safety, environment, politics [...]«. ¹ In ihrer Produktion spielt ein hybrides Gefüge von Sensoren eine zentrale Rolle. Beispielhaft handelt es sich bei aktuell geläufigen Satelliten sensorisch um ein komplexes Zusammenspiel von aktiven und passiven Sensoren, wie Kamera-, sowie RADAR- und LiDAR-Verfahren. ² Daher erweitert der Beitrag am Beispiel von LiDAR-Sensoren im Bereich autonomen Fahrens klassische Landschaftskonzepte um die Perspektive multisensorischer, multimodaler und maschinischer Wahrnehmung. LiDAR-Sensoren werden als ein Medium der Hervorbringung virtueller Landschaften untersucht, die aufgrund ihrer spezifischen zeitlichen und räumlichen Eigenschaften in der Produktion von Daten als Gegenstand der Untersuchung von Virtualitätsverhältnissen hervorstechen. Die Analyse ihrer Landschaftlichkeit und Virtualisierungsprozesse, dient dazu, sensorische Einschreibungsprozesse in Umgebungen und ihre Produktion virtueller Environments zu untersuchen. Es

1 Dominique Fontaine (2020): »Virtuality and Landscape«, in: Dennis Edler/Corinna Jenal/Olaf Kühne (Hg.), *Modern Approaches to the Visualization of Landscapes*, Springer: Wiesbaden, S. 276–278, hier: S. 268.

2 Vgl. Satsummit (2024): »Satellites Sensors and Properties. Geostationary Orbit vs. Low Earth Orbit. Unter: Satellites in Global Development.«, in: *landscape.satsummit.io*. Online unter: <https://landscape.satsummit.io/capture/satellites-sensors-properties.html> (letzter Zugriff: 21.11.2025).

handelt sich dabei um Laserscanner, die in den 1960er-Jahren in der Luftfahrt und im militärischen Kontext entwickelt wurden³, und heute in Forschung⁴, Industrie⁵, Smartphones und Staubsaugrobotern verankert sind. Ihre Messtechnik fußt auf dem Time-of-Flight-Prinzip und zielt darauf ab, in Annäherung an Echtzeit zeitkritische 3D-Datensätze zu Umgebungen hervorzubringen, bspw. im Drohnenflug oder als Teil von Sensorfusionensembles autonomer Autos.



Abb. 1: Punktwolkendarstellung einer Verkehrssituation

Seit ihrer Genese in den späten 1990er Jahren⁶ avancierten Punktwolkendarstellungen zu dem dominanten Repräsentationsschema von LiDAR (vgl. Abb. 1). Die

-
- 3 Vgl. Azlan Zahid/Sultan Mahmud (2023): »LiDAR Sensing and Ist Applications in Agriculture Encyclopedia of Digital Agricultural Technologies«, in: Qin Zhang (Hg.), Encyclopedia of Digital Agricultural Technologies, Springer: Cham, S. 769–777, hier: S. 770, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-24861-0>; Todd Neff (2018): The Laser that's Changing the World. The Amazing Stories behind Lidar from 3D Mapping to Self-Driving Cars, New York: Prometheus Books, S. 27ff., S. 37ff.
- 4 Vgl. Wang Zhien/Massimo Menenti (2021): »Challenges and Opportunities in Lidar Remote Sensing«, in: Frontiers in Remote Sensing 2/641723, S. 1–8, <https://doi.org/10.3389/frsen.2021.641723>.
- 5 Vgl. Sabine Synkule (2024): »Lidar in der Industrie«, in: Elektronik Industrie, S. 64–67.
- 6 Beispielhaft ist die Software CGP (Cyra, 1988). Vgl. Geoff Jacobs (2021): »The Early Days of 3D Laser Scanning, Part 11«, in: <https://www.xyht.com/>. Online unter: <https://www.xyht.com/energyutilities/the-early-days-of-3d-scanning-part-11/> (letzter Zugriff: 20.11.2025) und Ders. (2020): »The Early Days of 3D Scanning, Part 6«, in: <https://www.xyht.com/>. Online unter: <https://www.xyht.com/energyutilities/the-early-days-of-3d-scanning-part-6/> (letzter Zugriff: 20.11.2025).

auch als *pointclouds* bezeichneten bewegten 3D-Repräsentationen stellen jedoch einen visuellen, bereits interpretierten Zugang zu den virtuellen Umgebungen des Sensors dar. Sie sind eine Schnittstelle, für menschliche Rezipient*innen. Der durch sie produzierte Blick präsentiert Daten in einer ephemeren, aus *voxels* zusammengesetzten Form – einer namensprägend wolkenartigen Landschaft. Wie nachfolgend behandelt, ist diese jedoch überwiegend ein Zwischenzustand, da das Formlose und Vage beim Durchlaufen einer Übersetzungskette konkretisiert wird. Dieses Konkretisierungsverfahren fasse ich als *virtual landscaping*. Den Begriff schlage ich vor, um die Idee einer virtuellen und virtualisierenden Landschaftsgestaltung zu diskutieren. Darum stelle ich im Folgenden Untersuchungen zu LiDAR-Sensoren an, die ich mit Definitionen von Landschaft im Allgemeinen kontrastiere. Abschließend gehe ich ausführlicher auf eine Übereinstimmung zwischen Punktwolken und Wolken ein, die die zentrale landschaftlichen Eigenschaften des Ephemereren teilen. Darauf aufbauend untersuche ich das Verhältnis von operativen Datenstrukturen und dem Ephemereren.

Die Vorbedingungen von Punktwolken als bereits interpretierter Zugang gehen nicht nur auf Umgebungssignale und Sensorhardware zurück, sondern sind auch das machtsstrukturell komplexe Ergebnis algorithmischen Trainings. Es umfasst maschinische und menschliche Arbeit, welche oftmals auf der Ausbeutung von Clickwork-Arbeiter*innen des globalen Südens fußt.⁷ Auf diese Weise sind Punktwolken nicht bloß das Baumaterial, das virtuelle Landschaften mit Raumzeitbezügen anfüllt, sondern auch durch Label errichtete normative Bedeutungsinfrastrukturen, denen das Potenzial für Bias inhärent ist. Unter Labels versteht man Kategorien, die bestimmten »Bildmustern« zugeordnet werden, um eine KI zu trainieren, sodass diese später auch ungelabelte Bilder interpretieren kann. So können durch Labels virtuelle Objekte privilegiert oder marginalisiert werden. Welche Körper, Bewegungen und Muster erkennt ein System, welche verharren in Unwahrnehmbarkeit und Unkenntlichkeit?

Im Falle eines autonomen Autos sind die sensoalgorithmischen virtuellen Umgebungen Grundlage der Entwicklung von Fahrscenarien. Wird gebremst oder weitergefahren? Autonome Autos sind dabei ein Beispiel, das die komplexen Wirkungsverhältnisse zwischen virtuellen und physischen Umgebungen markiert. Punktwolken sind hier Teil eines sensorischen Vermittlungs- und Einschreibungsprozesses zwischen Mensch und Maschine, deren Be- und Verarbeitung ich als *virtual landscaping* begreife.

Eine Betrachtung virtueller Landschaften anhand von Punktwolken und ihrer Bildlichkeit navigiert Fragen von Zeitlichkeit, Relationalität, Macht- und Symbolstrukturen und führt zu einer Analyse der Flüchtigkeit virtueller Datengefüge. Die-

7 Vgl. Nicolas Gourault (2025): »Their Eyes«, in: <https://www.berlinale.de/>. Online unter: <https://www.berlinale.de/en/2025/programme/202513949.html> (letzter Zugriff: 20.11.2025).

se sind Endpunkte einer Übersetzungskette zwischen Umgebungssignalen, Sensor, Mensch und Computer. Nicht bloß die Diagrammatik des LiDAR, sondern auch die Produktion der Daten selbst, lässt sich bereits über für Landschaftskonzepte relevante Erfahrungsmodi wie das Durchlaufen analysieren. In Übertragung von Michel de Certeaus Ideen zum Gehen in der Stadt auf maschinelles Durchschreiten bzw. -fahren, lässt sich dieses als ein relationaler und zeitlicher Vorgang verstehen, der ein maschinelles Konzept von Landschaft offenlegt.⁸ Schließlich ist die Landschaft auch etymologisch ein relationaler Raum, der sich durch seine Akteur*innen und ihre »soziale[n] und politische[n] Beziehungen konstituiert«.⁹ So sollen nun in einem ersten Schritt Erläuterungen zu LiDAR-Scannern mit Überlegungen zur Landschaft im Allgemeinen aneinander angenähert werden.

1. Sensoalgorithmische Landschaften

Die Idee einer sensoalgorithmisch produzierten tatsächlichen wie auch virtuellen Landschaft – die hybride, robotisch-menschliche Wahrnehmungswelten zentriert – fordert zunächst eine Verortung des Landschaftsbegriffs ein. Landschaften lassen sich als eine Beziehung zwischen einer Umgebung und der sie wahrnehmenden Akteur*innen¹⁰ verstehen¹¹, die sich durch Vorstellungen zu Unterteilung und Grenzziehung¹² kennzeichnet und deren Rahmen ein jeweiliges Wahrnehmungsfeld ist – sowohl begrenzt durch infrastrukturelle Umgebungsbedingungen als auch durch sensorische Möglichkeiten.¹³

Landscape is made of what is visible. [...] Every landscape has a finite extent – it stops at the limit of what can be seen. As long as the observer is located on the surface of the Earth and looks horizontally or obliquely around himself, the land-

8 Vgl. Michel de Certeau (1988): *Kunst des Handelns*, Berlin: Merve, S. 179–208.

9 Vgl. Markus Leibenath/Ludger Gailing (2011): »Von der Schwierigkeit, ›Landschaft‹ oder ›Kulturlandschaft‹ allgemeingültig zu definieren«, in: *Raumforschung Raumordnung* 70, S. 95–106, hier: S. 98, <https://doi.org/10.1007/s13147-011-0129-8>.

10 Ich weite an dieser Stelle Landschaftsbegriffe jenseits Menschen als einziger Wahrnehmungsinstanz auf und verwende die Formulierung »wahrnehmende Akteur*innen«, um eine Analyse technischer Wahrnehmung zu ermöglichen.

11 Vgl. Barbara Bender (2002): »Time and Landscape«, in: *Current Anthropology* 43, S. 103–112, hier: S. 103.

12 Vgl. Georg Simmel (1913): »Philosophie der Landschaft«, in: *Die Göttinger Monistische Monatsschrift* 3, S. 635–644. Online unter: http://dramagraz.mur.at/dramagraz/produktionen/crimp/texte/simmel_philosophie.pdf (letzter Zugriff: 21.11.2025).

13 Vgl. B. Bender: *Time and Landscape*; G. Simmel: *Philosophie der Landschaft*.

scape has both hidden and visible parts. When the observer looks from above [...] the hidden parts disappear.¹⁴

So beschränkt Paul Claval zunächst den Umfang einer Landschaft auf die Grenzen visueller Wahrnehmung qua dominanter, positivistischer definitorischer Ansätze. Dabei handelt es sich um eine sensorisch eindimensionale und den Konventionen okularzentrischer Wissenschaftsproduktionsnormen folgender Definition,¹⁵ die in den weiter unten vorgestellten Landschaftsansätzen und auch später von ihm selbst herausgefordert wird.¹⁶ Unabhängig der spezifischen Sensorik steckt darin jedoch die Idee, dass Landschaft etwas ist, das durch ein relationales Verhältnis von Subjekt und Umgebung entsteht und durch den Wahrnehmungsapparat ersterer begrenzt ist.

In ihrer Synthese ist die die Landschaft – um die Perspektive multisensorisch zu erweitern – durch sensorische Begrenzung gekennzeichnet. Sie ist jedoch ebenso eine Verbindung von Einzelementen zu einer Gesamtheit: »Unser Bewusstsein muss ein neues Ganzes, Einheitliches haben, über die Elemente hinweg, an ihre Sonderbedeutungen nicht gebunden und aus ihnen nicht mechanisch zusammengesetzt – das erst ist die Landschaft.«¹⁷ Die Konstruktion der Landschaft jenseits fragmentierter Montage lässt sich mit dieser Definition als »Modus der Weltaneignung« durch subjektive Wahrnehmungszugänge einordnen.¹⁸ Das Verhältnis von Wahrnehmung zu Umgebungen, welches Landschaften als Ganzheiten konstituiert, ergibt sich aus dem Zusammenspiel einer multisensorischen, anstelle einer rein visuellen, verkörperten und zeitlichen Erfahrung, gerahmt von soziokulturellen und politischen Bedingungen: »What I have attempted to sketch is ways of talking about time and landscape that no longer privilege the visual over other senses or the mind over the body but instead work with an embodied phenomenological approach to time and landscape married to a larger political understanding [...]«¹⁹ Sensorik in ihrer Vielfalt ist so Grundelement der Synthese von Landschaften.

14 Paul Claval (2010): »The Idea of Landscape«, in: Maria Mautone/Maria Ronza (Hg.), *Patrimonio culturale e paesaggio. Un approccio di filiera per la progettualità territoriale*, Rom: Gangemi Editore, S. 15–22, hier: S. 15. Einzugrenzen ist, dass die Idee einer Ganzheitlichkeit durch den Blick von Oben auch ein Trugschluss ist, da es ebenso von Oben opake Umgebungseigenheiten gibt wie Höhlen und Baumkronen.

15 Vgl. Hana Porkertová (2022): »Revising modern divisions between blindness and sightedness: Doing knowledge in blind assemblages«, in: *The Sociological Review* 70/3, S. 580–598, <https://doi.org/10.1177/00380261221076199>.

16 Vgl. P. Claval: *The Idea of Landscape*, S. 22.

17 G. Simmel: *Philosophie der Landschaft*, S. 635.

18 Vgl. Robert Straube (2012): *Veränderte Landschaften, Formen und Funktionen des Landschaftsbildes in Lyrik aus der DDR*, Universität Halle-Wittenberg: Dissertationsschrift, S. 14.

19 B. Bender: *Time and Landscape*, S. 107.

1.1 Umgebung Landschaft

Neben Sensorik stellt die Umgebung, aus der sich zu verarbeitende Signale speisen, das zweite Grundelement der Landschaft dar. Sie ermöglicht das Ereignis des Wahrnehmens durch die Ergänzung von etwas Wahrnehmbaren. Landschaft entsteht nicht durch Umgebung oder Wahrnehmung, sondern durch die Verbindung beider durch das Medium Zeit. Diesen Umstand der Vermittlung begreift Tim Ingold als Verweilen in einer Umgebung, das ihre Wahrnehmung erst ermöglicht und das Ereignis Landschaft im Prozess hervorbringt, worin ihre fundamentale Zeitlichkeit begründet sei.²⁰

Denken wir die Landschaft als Ereignis, so wird sie zu einem Phänomen, das Umgebung und Wahrnehmung miteinander verbindet. Wie lassen sich, ausgehend davon, solche virtuellen Landschaften begreifen, die sensorisch nicht durch Lebewesen, sondern durch Maschinen entstehen? Gemeinsam ist beiden das Erfahren sensorischer Grenzen und das Zusammenfügen von Signalen zu Bedeutungseinheiten. Es ist ein Prozess der Diskretisierung von Umgebungssignalen und nachträglicher Clusterbildung, der auch beim abtastenden Verfahren des LiDAR-Sensors und der Zusammensetzung seiner Daten zu Punktwolken stattfindet.

Zentral für die Untersuchung von Sensorlandschaften ist auch die zeitliche Dimension von Landschaften, wie sie von Barbara Bender und Tim Ingold verhandelt wird.²¹ So hebt Bender ihre kontinuierliche Transformation hervor: »Landscapes are created out of people's understanding and engagement with the world around them. They are always in process of being shaped and reshaped.«²² Sind Sensoren entsprechend ein Werkzeug für *landscaping* des Virtuellen? Landschaft ist den Ansätzen folgend zeitlich gemacht und steht im Verhältnis zu der ihr übergeordneten Kategorie Umgebung. Eine Landschaft kennzeichnet zusammenführend Beziehungsverhältnisse einer Umgebung und der Wahrnehmung dieser durch ihre Einzelteile. Diese Beziehungen haben soziopolitische, machtsstrukturelle, geografische – oder im Fall von LiDAR alternativ formuliert *topografische* – wie auch symbolische Dimensionen.²³ Sensoren sind daher sowohl eigene Produzenten von Landschaften als auch technische Schnittstellen für Computer und Menschen zu Modalitäten der Wahrnehmung von Umgebungssignalen. Sie sind Schnittstellen, welche unsere Verhältnisse zu tatsächlichen wie auch virtuellen Umgebungen produzieren, indem sie verhandeln, filtern, diskretisieren, quantifizieren. Durch derartig technisch festgelegte Interpretationen entsteht mittels Sensoren eine virtuelle Landschaft.

20 Vgl. Tim Ingold (1993): »The Temporality of the Landscape«, in: World Archaeology 25/2, S. 152–174, hier: S. 152, 157, 162, 164.

21 Vgl. ebd.; B. Bender: Time and Landscape.

22 B. Bender: Time and Landscape, S. 103.

23 Vgl. T. Ingold: Temporality of the Landscape, S. 155.

Die virtuelle Umgebung bezeichnet die Ganzheit der produzierten Daten in ihrem räumlichen und zeitlichen Verhältnis zueinander. Diese Umgebung in ein Verhältnis mit dem Betrachtungsstandpunkt, sei es ein virtuelles Auto mit Sensorfusion oder die Perspektive eines einzelnen Sensors, zu setzen, grenzt die virtuelle Umgebung von der virtuellen Landschaft ab. Diese allgemeinen Überlegungen zur Landschaft sind neben relevanten definitorischen Erkenntnissen auch deshalb fruchtbar, weil von diesen ausgehend weitere Landschaftsaspekte in Bezug auf Punktwolken hervortreten können. Im Folgenden wird daher gezeigt, dass die virtuelle Landschaft von LiDAR-Sensordaten vor allen Dingen eines kennzeichnet: Das Verhältnis von Ephemerem und dessen Konkretisierung, welches Punktwolken und ihre Annotation sichtbar machen. Virtuelle Landschaften von *pointclouds* prägt ihre eigene Vagheit sowie die Eingrenzung dieser durch Verarbeitungsschritte: Eine sich kontinuierlich (neu) aufbauende, verfestigende und verflüchtigende Zusammensetzung von dynamischen und relationalen Punkten.

Wolken sind, unabhängig davon, ob das Wetterphänomen oder *cloud computing* gemeint ist, flüchtige und vage, jedoch ebenso wirkmächtige und organisierende Environments.²⁴ Punktwolken wirken, so möchte ich argumentieren, auf einer repräsentationalen wie auch operationalen Ebene analog zu meteorologischen Wolkenlandschaften hinsichtlich ihrer Struktur. Sie lassen sich entsprechend – an das Virtualitätsverständnis von Charles Sanders Peirces anknüpfend – in ihrer *efficiency*²⁵ als virtuelle Wolkenlandschaften begreifen, wobei sich ihre Flüchtigkeit als ein sich stetig de- und rekonstituierender Versuch der Abbildung virtueller Datenwelten anhand spatiotemporal zueinander in ein Verhältnis gesetzter Datenpunkte manifestiert.

1.2 Robotisch-menschliche Koproduktion von Landschaften

Punktwolken entstehen durch ein Mess- und Virtualisierungsverfahren, das, anders als bei Kamerasensoren, zunächst nicht inhärent visuell ist. Vielmehr entwirft Datensätze mittels aus Laufzeitmessungen entwickelter Hypothesen zu Entfernungsverhältnissen, berechnet aus dem Verhältnis gesendeter zu empfangener Laserstrahlung. Möchte man dem Sensor eine Metapher organischer Sinne attribuieren, ist das Scannen, als emissive Methode, dem Abtasten mittels weißem Langstock oder der Echolokation benachbarter als dem Sehsinn. Punktwolken sind daher keine digitale Repräsentation maschinellen ›Sehens‹. Vielmehr liegt ihnen eine Übersetzung von Umgebungssignalen zu Grunde, die von einem nicht-visuellen Sensor-

24 Vgl. John Durham Peters (2016): *The Marvelous Clouds. Toward a Philosophy of Elemental Media*, Chicago/London: University of Chicago Press.

25 Vgl. Charles Sanders Peirce (1920) »Virtual«, in: James Mark Baldwin (Hg.), *Dictionary of Philosophy and Psychology* 2, New York: The Macmillan Company, S. 763–764.

verfahren durch Zuschreibung numerischer Bedeutungen zu gemessenen Lichtimpulsen und Laufzeiten in relationale Entfernungsverhältnisse zueinander und zum Sensor gesetzt werden. Punktwolkenkarten sind wiederum eine visuelle Repräsentation dieser robotischen Wahrnehmung. Sie stellen Einzelmesswerte als topografische Sinneinheiten dar. Beim autonomen Fahren dienen sie dazu, Datencluster als Hindernisse zu identifizieren. Doch was wir bspw. als Mensch oder Baum in diesen Schemen lesen, ist im maschinellen Sinne zunächst frei vom Wiedererkennen. Die Sensoren, bspw. beim autonomen Fahren, bewegen sich zudem durch eine Umgebung in der sich ebenfalls Objekte, Menschen, Tiere usw. bewegen, wodurch sich die gemessenen Abstände permanent verändern. Die Umgebungssignale, Objekte mit Reflexionseigenschaften, liegen somit als flüchtige, bewegte, auftauchende und verschwindende Einzelevents vor, die ein Wahrnehmungsfeld (*field of sensing*) – der etablierte Begriff *field of view* bedient Metaphern des Sehens und wäre daher missverständlich – einerseits durchqueren und die der Sensor, angeschlossen an seine bewegliche Infrastruktur, andererseits selbst passiert. An dieser Stelle passiert etwas, das anthropozentrische Verständnisse eines Landschaftsbegriffs herausfordert.

Wenn Landschaft also – um die den bisher zitierten Stimmen von Ingold, Bender, Peters, Simmel und Claval zusammenzuführen – als etwas verstanden werden kann, das sich räumlich wie auch zeitlich konstituiert, ein soziokulturelles Phänomen ist, welches eine machtsstrukturelle Dimension mit sich bringt und nicht etwa Synonym mit Konzepten wie Umgebung, Ort, Platz, Raum oder Natur gedacht werden kann, sondern vielmehr ein von relationalen Verhältnissen geprägter Begriff ist, bei dem Landschaft etwas ist, das durch einen sensorischen Akt in Beziehung zu einer Umgebung entsteht, welcher über reine visuelle Rezeption hinausgeht – wenn all dies gilt, dann entsteht im Akt des Sensorverfahrens ein robotischer, bzw. ein maschinischer, Landschaftsentwurf. Dieser wirft Fragen auf, wie: Was kennzeichnet den Landschaftsentwurf im Fall von LiDAR? In welchem Verhältnis steht er zu virtuellen Landschaften? Welche Rolle spielen Punktwolken, als repräsentationales, an menschlicher Wahrnehmung orientiertes Interface, in dieser maschinischen Erfahrung von virtualisierter und virtueller Umgebung als Landschaft?

Landschaft als Begriff stellt sich in einer Untersuchung von Virtualitätsverhältnissen im Kontext sensoalgorithmisch hervorgebrachter, virtueller Umgebungen als produktiv heraus: Er fordert dazu auf, nichtmenschliche Wahrnehmung als Teil der Konstruktion virtueller Umgebungen genauer zu untersuchen und zu befragen, wie wir Zugänge zu ihnen erhalten. Sensordatenwelten als virtuelle Landschaften zu begreifen, ermöglicht einen Perspektivwechsel und damit auch, die virtuelle Umgebung als hybride – als im menschlichen und technischen Wechselspiel gemachte – zu verstehen. Mit einher geht, virtuelle Landschaften als situiert, konstruiert, politisch und als machtsstrukturellen Aushandlungsplatz zu fassen:

Landscapes and time are [...] not neutral. [I]t is we, through our embodied understanding, our being-in-the-world, who create the categories and the interpretation [...] To say that landscape and time are subjective [...] means that the engagement with landscape and time is historically particular, imbricated in social relations and deeply political.²⁶

Durch das Filtern von Umgebungssignalen produzieren Sensoren Weltverhältnisse, die nicht neutral oder abbildend sind. Sie erschaffen Wahrnehmungs- und Interpretationsvorlagen, Handlungsskripte für menschliche und maschinische Möglichkeiten, sich mit physischen und virtuellen Umgebungen in ein Verhältnis zu setzen. In sie schreiben sich normative Annahmen zu Perspektive und Distanzverhältnissen ein, die andere Aushandlungen des Landschaftsbegriffs ebenso prägen: »They [Landscapes] encapsulate ideas about perspective, about distance between observer and observed, which make the observer active, the observed passive.«²⁷ Entsteht folglich der Umbruch von einer virtuellen *Umgebung* zu einer virtuellen *Landschaft* erst im Moment des Durchschreitens oder Rezipierens einer Umgebung? Im Moment des Scannens sind die Umgebungsobjekte nicht festgeschrieben aktiv oder passiv: Menschen, Autos, Hunde, sogar Bäume im Wind und Nebelbänke können sich im Fall von LiDAR- Aufnahmen autonomer Autos, bewegen und die Möglichkeiten des Sensors beeinflussen. Sie wirken auf den Prozess der Produktion von Grenzen einer virtuellen Umgebung ein: Nebel kann verhindern, dass der Sensorlichtstrahl eine Distanz überbrückt; ein Mensch kann sich vom Sensor entfernen oder sich auf ihn zubewegen. Sie sind Teil der Ereignisbildung Landschaft zwischen Umgebung und Sensor(en). Die Distanz zwischen *observer* und *observed* und das mögliche Wahrnehmungsfeld wird durch beide Rollen beeinflusst. Die Untersuchung des Sensors fordert entsprechend normative Erwartungen zu Aktiv-Passiv-Verhältnissen von *observer* und *observed* heraus. Der Umstand, dass die Absorptions-, Refraktions- und Reflexionseigenschaften von Licht in der Materialität der Umgebungsobjekte aktiv auf die Konstruktion der virtuellen Welt durch den Sensor einwirken, erschüttert eben jene binäre Zuschreibung und markiert den Prozess virtueller Landschaftswerdung als ein reziprokes Wechselverhältnis von Umgebung und Sensor.

26 B. Bender: Time and Landscape, S. 104.

27 Ebd., S. 105.

2. Flüchtigkeit und Konkretheit in der Virtualisierung von Landschaften

Was bedeutet es für die Landschaft des LiDAR-Sensors, wenn wir *Landschaft* als das reziproke, zeitliche Ereignis setzen, welches durch die übersetzenden Vermittlungsschritte von Umgebung und Sensorik entsteht? Drei Faktoren, welche ihren Entstehungsprozess ausmachen, lassen sich identifizieren:

Erstens: Die spezifischen Eigenschaften des Sensors (das abtastende, zeitkritische und dreidimensionale Verfahren des Laserscans, die Art, wie er sich bei einem fahrenden Auto bewegt in der Umgebung befindet).

Zweitens: Der Umstand, dass diese Umgebung – der Straßenverkehr – angereichert durch vielfältige, sich ebenfalls bewegende, Objekte ist.

Drittens: Der Umstand, dass diese Bewegungsereignisse und Volumina zunächst undifferenziert behandelt virtualisiert werden.

Diese Eigenschaften bringen das Flüchtige, sich kontinuierlich Transformierende, temporär Unbegrenzte oder Überlappende und Ephemere – kurz, das Wolkenartige der LiDAR-Sensor-Landschaften hervor. Was offenbart eine Untersuchung von Wolken als flüchtige, sich verändernde Ereignisse im Hinblick auf Punktwolken und ihre virtuellen Sensorlandschaften?

Wie kaum ein anderes Umgebungsphänomen kennzeichnet Wolken das Flüchtige einer Landschaft. Sie sind Teil der Wissenschaftsgeschichte von Vermessung, Kartierung und Bildlichkeit, wie die Landschaftsbilder Masanao Abes exemplifizieren.²⁸ Wolken sind zudem ein Gegenstand des Testens von Grenzen durch sozio-technische Assemblages, wie Praktiken des *cloud seeding* verdeutlichen.²⁹ Hier zeigt sich exemplarisch eine Konfrontation mit Unbestimmtheit, welche mit Dokumentationsversuchen von Wolken als Wissenschaftsbildern einhergeht.³⁰

Dass Wolken als ein technisches, modifizierbares und medial transformierbares Environment verstanden werden können, ist eine Entwicklung des 20. Jahrhunderts, die unsere Umgänge mit Klima und Wolken verändert hat.³¹ Dieser Per-

28 Vgl. Helmut Völter (2012): »Masanao Abes Wolkenfotografien«, in: Zeitschrift für Medienwissenschaft 7/2, S. 104–112, hier: S. 104.

29 Vgl. Nadine Taha (2013): »Die Wettermacher als Grenzgänger. Zur industriell-militärischen Geschichte der Wettermanipulation«, in: Navigationen – Zeitschrift für Medien- und Kulturwissenschaften 13/2, S. 163–174, hier: S. 163f.

30 Vgl. Ebd. 172.

31 Vgl. Isabell Schrickel (2012): »Von Cloud Seeding und Albedo Enhancement. Zur technischen Modifikation von Wetter und Klima«, in: Zeitschrift für Medienwissenschaft 4/1, S. 194–205, hier: S. 195 u. 205.

spektivwandel, von Wolken als unberührbare, unausweichliche Wettergewalt hin zu einem modifizierbaren System, spiegelt sich auch begrifflich in Punktwolken. Schließlich bedenken wir mit dem Begriff ein modifizier-, filter- und annotierbares Baumaterial von Datenrepräsentationen, ohne eine kognitive Dissonanz mit einer Wolkenmetapher. Handelt es sich bei diesem Teil des Begriffsinstrumentariums von Sensoren um eine weitere Ausprägungsform der Ökologisierungstendenzen von Technik(-Verständnissen)?³² Wird der Begriff Wolke verwendet, um das tatsächlich oder vermeintlich Diffuse, Nebulöse und Unklare zu markieren? Oder steht die räumliche wie auch zeitliche Instabilität und der stetige Prozess der Transformation im Vordergrund, der Daten als etwas fasst, das in-Bewegung-ist und dessen Entitätsgrenzen sich stetig neu konstituieren?

Was Nadine Taha als Eigenschaft spezifischer Wolkenbilder identifiziert, lässt sich auf die Wolkenwelten der *pointclouds* übertragen. Auch sie bieten einen »interpretativ-argumentativen Spielraum«, welcher »nicht über die Vagheit der angeblichen Beweise« hinwegtäuscht.³³ Schließlich bilden sie als Punktwolken zwar gemessene Daten ab, verfügen jedoch ebenso über Vagheit. Immerhin liegt das Abstecken und Interpretieren der Daten zuletzt in den Verarbeitungsschleifen von opaken Algorithmen. Hinzu kommen Filterprozesse, die per se oft (un)erwünschte Datenpunkte selektieren: In aktuell gängigen LiDAR-Sensoren sind Filteralgorithmen verbaut, die darauf abzielen, als Noise eingeordnete Datenpunkte automatisiert zu entfernen, wie Insekten, Regen, Staub oder Nebel.³⁴ Ohne spezifische Objektzuschreibungen – durch Filtern, Annotation und Bounding Boxes – handelt es sich bei den Pointclouds schließlich um eben jene: Wolken aus undefinierten Einzelpunkten. In ihrer Struktur und Komposition genauso vage, flüchtig und verteilt wie die namensgebenden Wetterphänomene.

Die virtuellen Landschaften von LiDAR-Daten lassen sich entsprechend zunächst als solche festhalten, die durch ihre Vagheit und ihre Flüchtigkeit, durch unbestimmte Verhältnisse von Datenpunkten zueinander abseits ihrer Entfernung und ihren zeitlichen Veränderungen bestimmt sind. Labelpraktiken, menschliche wie auch maschinelle, sind in diesem Fall aus der Linse des Landschaftsbegriffs betrachtet, *virtual landscaping* einerseits sowie *Kartografieren* und *Taxonomieren* andererseits, wie nachfolgend hergeleitet. Genauer gesagt handelt es sich dabei um einen Prozess, durch den virtuelle Landschaften vom Flüchtigen zum Konkreten

32 Vgl. Léa Perraudin (2024): Elementare Ekstasen. Sondierungen der Technosphäre, Lüneburg: meson press (Future Ecologies Series), S. 19–26.

33 Vgl. N. Taha: Die Wettermacher als Grenzgänger, S. 163f. u. 172.

34 Vgl. Ali Afzalaghaeinaeini/Jaho Seo/Dongwook Lee/Hanmin Lee (2022): »Design of Dust-Filtering Algorithms for LiDAR Sensors Using Intensity and Range Information in Off-Road Vehicles«, in: Sensors 22/11, S. 4051.

überführt werden, indem Punktcluster zu Sinneinheiten verbunden und damit verfestigt und eingegrenzt werden.

2.1 Luke Howards meteorologische Studien: Was ein Kopf in den Wolken historisch über flüchtige Wissenschaftsbilder vermittelt

Vergleichen wir die Analyse von analogen Wolken, dem Gegenstand von Kindertagträumen und Meteorologie gleichermaßen, mit derjenigen von digitalen und virtuellen Wolken wie Punktwolken, lässt sich als gemeinsame Herausforderung das Ephemere markieren. Der Modus, um der Flüchtigkeit und Unkonkretheit nicht gelabelter Daten bei Punktwolken zu begegnen, ähnelt in seinen Grundzügen operativ ersten Versuchen von Wolkentaxonomien und -kartografien, wie denen von Luke Howard, dessen Beschreibungen von Wolkengrundformen von 1803³⁵ noch heute die Grundlage des internationalen Wolkenatlas darstellen.³⁶ In dieser ersten formellen, akademischen Kategorisierung von Wolken spielen Wissenschaftsbilder eine besondere Rolle. So fertigte er selbst annotierte Aquarelle der Wolkenformen als Typenkarten für die Erstveröffentlichung seines Essays an, im Versuch, die flüchtigen Wetterphänomene über Raum und Zeit festzuhalten (vgl. Abb. 2a&b).³⁷

Howards Wissenschaftsbilder sind ebenso ein Werkzeug, das derartige Erforschung und Ordnung von Wolken erst ermöglicht, wie auch eine potenziell limitierende Reduktion und Stereotypisierung. Ohne die Illustrationen wäre das Hinzufügen eines Labels (Abb. 2a) oder eine Einschreibung der Diagrammatik (Abb. 2b) nicht möglich, da eine Repräsentation des Phänomens, etwas, das das wahrgenommene Kollektiv von Umgebungssignalen – kurz: die *Landschaft* – repräsentiert, fehlen würde. Bereits die Herausgebenden der dritten Auflage von Howards Wolkentypisierung mahnen die Lesenden, diese Reduktion durch die bildliche Darstellung wahr- und ernstzunehmen: »We must, however, warn the young student of Meteorology [...] against limiting his conceptions of the Modifications to the particular forms here represented; a correct comprehension of the subject is only to be obtained by a habitual observation of Nature [...]«³⁸ Analog dazu sind bereits in Sensoren verbaute Filteralgorithmen und der gemachte Status der Daten bei der Analyse von LiDAR-Punktwolken und die ihnen immanente ephemere Struktur der zunächst unkategorisierten Punkte zu bedenken.

35 Vgl. Luke Howard (1832 [1803]): *Modifications of Clouds*, 3. Auflage, London: John Churchill & Sons.

36 Vgl. Fakultät für Meteorologie Freie Universität Berlin: »Wetterbeobachtung« (2016), in: <https://www.osa.fu-berlin.de>. Online unter: https://www.osa.fu-berlin.de/meteorologie/beispielaufgaben/02_wetterbeobachtung/index.html (letzter Zugriff: August 2025).

37 Vgl. L. Howard: *Modifications of Clouds*, S. vii.

38 Vgl. ebd., S. viii.



Abb. 2a&b: Luke Howards Wolkenstudien (1803–1811). Cloud study of nimbus rainfall and of light cirro-cumulus beneath cirrus

2.2 Konstruktion von Bildlichkeit in Punktwolken

Bei einer Untersuchung von Punktwolkenbildern gilt es, sich ihre Funktion als primär menschlich adressiertes Repräsentationsschema bewusst zu machen. Schließlich liegen die Daten zunächst nicht in dieser bildlichen und visuellen Form vor, sondern werden in diese spezifische Ausdrucksweise übersetzt, um sie operativ nutzbar zu machen. Ein Beispiel dafür ist die Montage eines Blickwinkels der Daten. Punktwolken, wie die Beispiele zeigen (Abb. 1 u. 3), produzieren bestimmte Blicke auf Daten und ihre virtuellen Umgebungen. Sie stellen jeweils einen *point of view* hinsichtlich Betrachtungswinkel, Distanzverhältnissen und Bildausschnitt dar – sei es ausgegeben als Bewegtbild, simuliertes Modell oder Standbild. Diese Gemachtheit lässt sich anhand der Aspekte Perspektive, Farbigkeit und Orientierungspunkte an den Bildbeispielen festmachen.

Perspektive: Beide Bilder arbeiten jeweils mit einer Perspektive von Schräg-Oben, zwischen einer Vogelperspektive und einer Art Illusion eines Fluchtpunktes ohne Fluchtpunkt, ähnlich der isometrischen Perspektive. Eine partielle bis vollständige Vogelperspektive ist dabei eine Perspektive, die bei LiDAR-Daten (teil-)autonomer Autos oft zur Repräsentation verwendet wird – ganz ohne, dass sie den Aufnahmebedingungen entspricht, welche Daten aus verschiedenen Winkeln einer fahrenden Perspektive produzieren. Dabei ist die physische Positionierung von Sensoren in autonomen Autos für die sensoalgorithmischen Möglichkeiten eines jeweiligen Fahrzeugs ausschlaggebend.³⁹ Der Blick von oben ist in diesem Fall ein synthetischer Blickwinkel, der Produkt der Fusion verschiedener LiDAR-Sensordaten und eines

39 Vgl. Tae-Hyeong Kim/Tae-Hyoung Park (2020): »Placement Optimization of Multiple Lidar Sensors for Autonomous Vehicles«, in: IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 21/5, S. 2139–2145.

gewählten Betrachtungswinkels ist. In dieser Konstruktion einer synthetischen Perspektive steckt ein grundlegendes Spannungsverhältnis, das zwischen Karte, Landschaft und Raum entsteht, sobald wir virtuelle Sensorlandschaften betrachten:

In the landscape, the distance between two places [...] is experienced as a journey made, a bodily movement, from one place to the other [...]. The surveyor's job, however, is to take instrumental measurements from a considerable number of places, and to combine these data to produce a single picture which is independent of any point of observation. [W]hereas actual journeys are made through a landscape, the board on which all potential journeys may be plotted is equivalent to space.⁴⁰

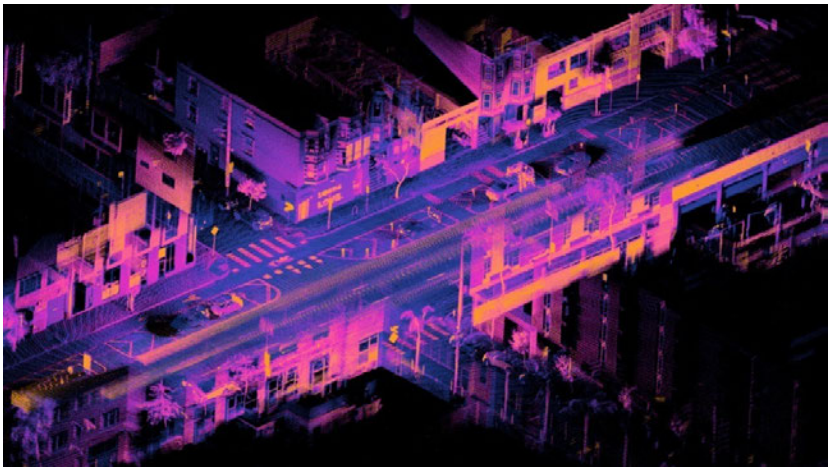


Abb. 3: Punktwolke eines LiDAR-Scans, der auf einem fahrenden Auto ausgeführt wurde

Auch bei den Punktwolkendarstellungen handelt es sich um konstruierte Bilder und Perspektiven aus Messungen verschiedener Sensoreinheiten, gemessener Orte und Zeiten, die sich vogelperspektivisch vom »point of observation« loslösen. Anders als bei historischen Landkarten, konstituieren sich Punktwolken durch die Reise des Roboters durch physische Landschaften. Sie sind zugleich Mittel, um physische *Landschaften* zu durchqueren und *virtuelle* Landschaften zu erzeugen. Sie schaffen einen virtuellen Raum für virtuelle Reisen. Denn LiDAR-Daten und die Entwicklung virtueller LiDAR-Sensoren dienen auch als Grundlage für simu-

40 T. Ingold: *The Temporality of the Landscape*, S. 154f.

lierte Fahrszenarien, als Trainingsgrundlage für autonomes Fahren.⁴¹ Simulierte Testfahrten haben als Grenze all ihrer potenziellen Reisen den virtuellen Raum. Während der tatsächliche Raum sich aus der Umgebung ergibt, speist sich der virtuelle Raum hingegen aus der Landschaft des Sensors und seiner Virtualisierung. Nicht die Idee eines neutralen Raums, sondern die Landschaft ist die Grundlage virtueller Simulationsfahrten, wodurch ein Grad der Ableitung und Abstraktion hinzugefügt wird, sobald es sich um einen sensoalgorithmisch produzierten *virtual space* handelt.

Die Montage einer Vogelperspektive, die Ganzheit suggeriert, ohne diese zu gewähren, trägt entsprechend dazu bei, dass die sensorisch konstruierte Landschaft nicht als solche, als relational subjektives Produkt eines Ereignisses zwischen Umgebung und Sensorik präsentiert und lesbar gemacht wird, sondern vielmehr den Eindruck eines allsehenden Blicks auf einen ›objektiven‹ Raum vermittelt.

Farbigkeit: Weder Graustufen (vgl. Abb. 1), noch eine kontrastreiche, orange-violette Farbpalette (vgl. Abb. 3) sind ein inhärenter Bestandteil der Sensordaten, sondern ergeben sich aus Übersetzungsschritten und Darstellungsentscheidungen. Denn LiDAR ist zunächst ein invisuelles Verfahren, dass keine Farb- oder Grauwerte misst, sondern Erhebungen und Senkungen raumzeitlich situiert und so probabilistische Aussagen über das Vorhandensein und die Entfernung von Umgebungsobjekten trifft.⁴² Das Verfahren ist zudem limitiert: Objekte wie Glasscheiben können dabei aufgrund von Reflexionseigenschaften nicht registriert werden, da sie das Nahinfrarotlicht des Sensors ohne Weiteres passiert.⁴³ Farbverteilungen sind entsprechend eine nachträglich hinzugefügte Ebene, um die Bilder für Menschen operativ nutzbar zu machen, indem ihre Interpretierbarkeit erhöht wird.

Orientierungspunkte: Ähnlich funktioniert auch das Hinzufügen von Zebrastreifen (vgl. Abb. 1): Das grafische Element wurde nachträglich hinzugefügt, verfügt nicht über die Punktstruktur des übrigen Bildes und dient entsprechend der Orientierung eines menschlichen Blicks, indem es zur Eindeutigkeit der Verkehrssituation und ihrer Bedingungen beiträgt. Wie die punktsymmetrisch parallellaufenden Linien des Schemas indizieren, ist das *field of sensing* der Sensoreinheit(en) nach unten begrenzt: Es sind keine Informationen vorhanden – das grafische Element ragt jedoch in diesen Bereich hinein.

41 Vgl. Dong-Ju Lee/Jiung Im/Jong-Hoon Won (2023): »Virtual Lidar Sensor Intensity Data Modeling for Autonomous Driving Simulators«, in: IEEE Access 11, S. 120694–120706.

42 Für einen niedrigschwelligen Vergleich von Kamera-, LiDAR- und RADAR-Sensoren vgl. Anne-Sophie Dubois (2023): »An in-depth comparison of LiDAR, Cameras, and Radars' technology«, in: <https://insights.outsight.ai/> (07.2023). Online unter: <https://insights.outsight.ai/how-does-lidar-compares-to-cameras-and-radars/> (letzter Zugriff: 20.11.2025).

43 Vgl. Haileleol Tibebe/Jamie Roche/Demuni De Silva/Ahmet Kondo (2021): »LiDAR-Based Glass Detection for Improved Occupancy Grid Mapping«, in: Sensors 21/7, S. 2263, S. 1.

2.3 Die Genese einer Landschaft

Punktwolken können entsprechend um grafische Elemente erweitert werden, die sich nicht aus den Scans des jeweiligen Sensors ergeben – seien es Bildinformationen, die Form, Farbe, Helligkeitswerte, Perspektive oder das konkrete Hinzufügen von Bildobjekten betreffen. Diese Übersetzungsleistung kann Inhalte für Menschen verständlicher machen, sie allerdings auch verzerren. Dieser Übersetzungsschritt der Anreicherung von Punktwolken um Elemente jenseits der direkten Ansätze nicht-visuelle Daten in visuelle zu übersetzen, lässt sich als eine Erzählung rahmen, die als Werkzeug eines *virtual landscapings* eingeordnet werden kann. In diesem Fall ist hervorzuheben, dass dem Sensorbild, sowohl intra- als auch extradiegetische Elemente hinzugefügt werden können, die das Bild als Text in seiner Lesbarkeit verändern und die virtuelle Landschaft erweitern, verändern, in ihren Grenzen des Wahrnehmbaren verschieben – kurz: eine Manipulation vornehmen. Dabei ist die zuvor vorgestellte Grafik eines Zebrastrreifens oder die Konstruktion einer Vogelperspektive ein intradiegetisches Beispiel. Das Hinzufügen einer Bounding-Box oder eines Labels wie »Radfahrerin« oder »Auto« zu einer Punktwolkensammlung wäre hingegen ein extradiegetisches Beispiel, da dort die Ergänzung in ihrer Funktion als Interpretationsschema und Verständnisstütze, aber auch als Vorgabe, wie etwas zu verstehen sei, als visuelle Repräsentation von Begrenzungen oder Kategorisierungen durch den Grad der Abstraktion markiert ist (die geometrische Form eines Kastens oder der Wechsel von Punktdarstellungen zur Textebene). Die narrative Rahmung beeinflusst entsprechend die Wirkung der Repräsentation einer virtuellen Landschaft durch Veränderung der Farb- und Formsprache und durch das Hinzufügen von semiotischen Bezügen jenseits der aufgenommenen Scans und ihrer Übersetzung ins Visuelle.

Was die Genese einer virtuellen Landschaft betrifft, lässt sich, wie zuvor angerissen, in diesem nachträglichen Verarbeitungsprozess mittels Punktwolken sowohl der Prozess des *landscapings* als auch der des Kartografierens und Typisierens, letztere wie zuvor durch den Vergleich mit Howards Wolkenstudien dargestellt, festmachen. Die Datenprozessierung von Punktwolken kann somit als *virtual landscaping*, als Gestaltung einer Landschaft verstanden werden.

Im Umgang mit Landschaften und ihren operativ-repräsentationalen (Wissenschafts-)bildern rückt das Problem der Flüchtigkeit zeitlicher und strukturell ephemerer Umgebungsphänomene und ihrer Virtualisierung in den Vordergrund. In diesem Aspekt stehen diejenigen, die LiDAR-Scans erstellen und auswerten vor einem ähnlichen Problem wie Howard und seine Studierenden: Das Abbild, der Versuch, ein X von einem X mit ähnlicher Wirkmächtigkeit und Wirkung, mit der peirceanischen Definition von Virtualität gesprochen,⁴⁴ zu schaffen, ist durch die

44 Vgl. C. Peirce: Virtual, S. 763–764.

ephemere Natur des untersuchten Gegenstands ein Prozess, der das Festsetzen von Einteilungen, Grenzen, charakteristischen Typen und das Verbinden potenziell separater Anteile basierend auf Wahrscheinlichkeitshypothesen notwendig macht, um operativ nutzbar zu werden. Mit diesen Wahrscheinlichkeiten geht auch das Risiko des Fehlers oder der Marginalisierung und Unsichtbarmachung von Varianz einher. Virtualisierung durch Filter- oder Selektionsprozesse bedeutet entsprechend auch, dass sich das X von einem X – in diesem Fall die virtuelle Landschaft – über notwendige, aber auch limitierende, Auslassungen und die Verschiebungen eines Selektionsprozess definiert.

Virtualisierung, der Versuch etwas Wirkungsähnliches mit anderer Modalität zu erschaffen, ist ein Balanceakt eines inhärenten Risikos der Wirkungsentfremdung, der Hervorbringung eines eigenen, abweichenden *virtus*, der Stagnation durch Nichthandeln und dem Problem, das sich aus der Zuschreibung von etwas als *virtuell* ergibt. In dem Moment, in dem wir etwas als virtuelles X bezeichnen, hier als virtuelle Landschaft, schreiben wir diesem X einen bestimmten Grad des ähnlichen Wirkungsverhältnisses zwischen X und virtuellem X zu. Ist dieser Akt der Zuschreibung selbst nicht ebenso ein Raum dafür, bestimmte Ausschlüsse und Verbindungen, bestimmte Filter und Einschreibungen zu normalisieren und zu sanktionieren? In dem Moment, indem die Zuschreibung des Attributs *virtuell* erfolgt, findet eine Bestätigung der gemachten – die Wirkung eines X verändernden – Entscheidungen statt.

Virtualisierungsprozesse, die sensoalgorithmischer Virtualität zu Grunde liegen, sind folglich keine nahtlose oder neutrale, fehlerfreie und gesicherte Überführung von Gegenständen, Umgebungen oder Phänomenen: Sie sind eine mehrgliedrige Übersetzungskette, deren Übersetzungsschritte auch Einschreibungen in eben jene Produktion von Virtualität bedeuten. Dieser Umstand lässt sich mit Christine Buci-Glucksmann gedacht, jedoch auch als ein produktives Potenzial auffassen, bzw. als eine Anerkennung des handlungsreichen und vernetzten Charakters, der das Ephemere hervorbringt: »Deshalb bedeutet das Ephemere kein passives Akzeptieren der Gegenwart, sondern ihre Erfassung in der Modulation von Geschöpfen und Dingen, in ihrer Einheit und Differenz.«⁴⁵

Wie hier der Versuch erfolgte, lässt sich dieser Umstand der Einschreibung am Landschaftsbegriff und seinen theoretischen Verbindungen zum Gemachten, zur Selektion, zu Grenzen und dem Kuratieren im Hinblick auf das Spannungsverhältnis von Umgebung, virtueller Umgebung, Landschaft und virtueller Landschaft produktiv darstellen. Gleichzeitig stellen Sensorlandschaften nur ein mögliches Feld der Untersuchung dieses Beziehungsverhältnisses dar. Eine virtuelle Landschaft ist entsprechend stets auch als ein hinsichtlich seiner Bedingungen a priori kuratierter

45 Christine Buci-Glucksmann (2004): »Vom kartographischen Blick zum Virtuellen«, in: www.medienkunstnetz.de/ (letzter Zugriff: 21.11.2025).

Spielraum zu definieren, in dem das stattfindet, was die *efficiency* einer Landschaft ausmacht und ausmachen soll. Wenn die Untersuchung sensorischer Environments die Frage aufruft: Wie nimmt ein Roboter seine Umgebung wahr, so ruft die Untersuchung sensorischer Landschaften die Frage auf: Wieso nimmt er sie auf *diese* Weise wahr?

Fazit

Den Status der Landschaft in der virtuellen Umgebung von Sensoren lässt sich zusammenfassend als ein Phänomen mit zwei Betrachtungsebenen begreifen: Wie drückt sich die virtuelle Landschaft des Sensors einerseits aus? Was kennzeichnet die virtuellen Landschaften der Punktwolken andererseits? Einerseits sind Roboter durch die Spezifik ihrer sensorischen Embodiments unterschiedlich in ihrer Umgebung situiert und bringen entsprechend ihrer Sensor-Einheiten – der Gesamtheit ihrer Sensortypen, der verwendeten Modelle, den Positionen der Sensoren sowie der jeweiligen Verarbeitungsweisen wie Sensorfusionen – unterschiedliche Wahrnehmungen einer Umgebung hervor. Die Wahrnehmungsgrenzen und -möglichkeiten eines Sensorensembles produzieren jeweils spezifische Landschaften: Ausschnitte einer Umgebung, begrenzt durch ihre Wahrnehmbarkeiten und Übersetzungen in Zeit und Raum. Diese Landschaften lassen sich ähnlich geschlossen begreifen, wie Landschaftsbegriffe, die sich durch menschliche Wahrnehmungsgrenzen definieren. Gleichzeitig haben sie die Wirkmächtigkeit, Umgebungen – virtuelle wie auch physisch konkrete – raumzeitlich zu beeinflussen: »Somit wird der Raum zum floating space und das Reale wird immer mehr von einem Virtuellen transformiert, das die Konzeption des scape verallgemeinert.«⁴⁶ Buci-Glucksmann markiert dabei auch das »Zeit-Werden des Raumes« und begreift die von ihr beschriebenen kartografischen, virtuellen Bildwelten als »post-ephemere, fragile Bilder«: Das Ephemere ist auch hier ein Zwischenzustand, dessen Nachfolge von einer prekären Zerbrechlichkeit geprägt ist.⁴⁷

Andererseits bringen sensoalgorithmische Prozesse einen zweiten Typ der virtuellen Landschaft hervor: die Landschaften ihrer Datenrepräsentationen. Sie sind im Fall der untersuchten Punktwolken zunächst durch ihre eigene Vagheit und das Ephemere gekennzeichnet. Durch Annotationsverfahren und Farbkodierungen werden Punktcluster zu Sinneinheiten verbunden und zu Klassen von Objekten gemacht, die im Bezug zum Auto und ihrer Umgebung stehen und denen jeweils Wahrscheinlichkeiten hinsichtlich Bewegungsverläufen und normierte Regeln in Relation zu ihnen angepassten Fahrverhalten zu Grunde liegen. Erst

46 Vgl. ebd.

47 Vgl. ebd.

die Verarbeitung der Punktwolken macht sie operativ nutzbar für das Training und Durchführen algorithmischer Verfahren. Wie in diesem Beitrag hergeleitet, lässt sich die Verarbeitung eines virtuellen *sensor environments* zu einer Punktwolkendarstellung als eine Form der Landschaftsgestaltung begreifen, die sowohl die (Grenzen, Möglichkeiten und Modalitäten einer) Umgebung selbst als auch den möglichen Blick, den Betrachtende auf sie werfen können, hervorbringt und absteckt.

In diesem Teil der Übersetzungskette von Sensordaten, welche dem Scanverfahren des Sensors nachgeschaltet ist, entsteht eine visuelle Repräsentation einer virtuellen Landschaft in Abgrenzung zur virtuellen Umgebung des Sensors, welche sich an menschliche, sehende Betrachter*innen richtet: Die Kombination aus einer Umgebung und der Wahrnehmung eben jener. Dabei handelt es sich um eine Interpretation der Daten in eine visuelle Form und in eine Rahmung durch extra- und intradiegetische Bearbeitungsschritte. Diese Bearbeitung bedeutet auch, dass sich der Bildstatus vom Repräsentieren allein löst und eine eigene, virtuelle Landschaft, hervorbringt, die über Regime des Blickens strukturiert ist und sich von der Modalität wie auch dem Kontingenz der Inhalte der virtuellen Landschaft des Sensors löst. Das »Kartographische ist Projektion und zugleich auch projizierte Welt.«⁴⁸

Die Produktion von Punktwolkenvisualisierungen ist dementsprechend ein Schauplatz der virtuellen Landschaftsgestaltung, in der Filter- und Annotationspraktiken Vagheit diskretisieren. Sie begegnen so dem zunächst ephemeren Zustand der Punktwolke repräsentational wie operativ. Punktwolken als virtuelle Landschaft des Flüchtigen durchlaufen in ihrer Datenverarbeitung hin zu menschlich-genutzten, okularzentrischen, operativen Datenvisualisierungen entsprechend einen semantischen wie auch epistemischen Übersetzungsprozess der Konkretisierung. Schließlich ist der Akt des Kartografierens und Annotierens in Bezug auf virtuelle Sensorlandschaften gleichzeitig als ein *virtual landscaping* der *datascares* einzuordnen. Landschaft wie auch Landschaftsgestaltung sind in Bezug auf die Erforschung sensoalgorithmischer Virtualität von Umgebungen ein produktives Werkzeug, um die Parameter Embodiment, Multisensorik und organische wie auch maschinische sensorische Divergenz und daraus resultierenden spezifischen Situierungen zu untersuchen und ihre epistemischen Bedingungen zu hinterfragen.

48 Carl Aigner (2011): »Kartographieren des Blicks. Approximatives zur »Mapping«-Werkserie von Michael Kos«, in: Michael Kos (Hg.), Ausst. Kat. Random Noise. Geschlichtete Malerei, Layered Painting, S. 32–37, hier: S. 32. Online unter: https://www.michaelkos.net/downloads/text_carlAigner.pdf (letzter Zugriff: 20.11.2025).

Literaturverzeichnis

- Alfalaghlaeinaeini, Ali/Seo, Jaho/Lee, Dongwook/Lee, Hanmin (2022): »Design of Dust-Filtering Algorithms for LiDAR Sensors Using Intensity and Range Information in Off-Road Vehicles«, in: *Sensors* 22/11, S. 4051, <https://doi.org/10.3390/s22114051>.
- Aigner, Carl (2011): »Kartographieren des Blicks. Approximatives zur »Mapping«-Werkserie von Michael Kos«, in: Michael Kos (Hg.): *Ausst. Kat. Random Noise. Geschlichtete Malerei, Layered Painting*, S. 32–37. Online unter: https://www.michaelkos.net/downloads/text_carlAigner.pdf (letzter Zugriff: 20.11.2025).
- Bender, Barbara (2002): »Time and Landscape«, in: *Current Anthropology* 43, S. 103–112.
- Buci-Glucksmann, Christine (2004): »Vom kartographischen Blick zum Virtuellen«, in: www.medienkunstnetz.de/. Online unter: www.medienkunstnetz.de/themen/mapping_und_text/der-kartografische-blick/print/ (letzter Zugriff: 20.11.2025).
- Claval, Paul (2010): »The Idea of Landscape«, in: Maria Mautone/Maria Ronza (Hg.), *Patrimonio culturale e paesaggio. Un approccio di filiera per la progettualità territoriale*, Rom: Gangemi Editore, S. 15–22.
- De Certeau, Michel (1988): *Kunst des Handelns*, Berlin: Merve.
- Dong-Ju, Lee/Jiung, Im/Won, Jong-Hoon (2023): »Virtual Lidar Sensor Intensity Data Modeling for Autonomous Driving Simulators«, in: *IEEE Access* 11, S. 120694–120706, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3324965>.
- Dubois, Anne-Sophie (2023): »An in-depth comparison of LiDAR, Cameras, and Radars' technology«, in: <https://insights.outsight.ai/> (07.2023). Online unter: <https://insights.outsight.ai/how-does-lidar-compares-to-cameras-and-radars/> (letzter Zugriff: 20.11.2025).
- Fakultät für Meteorologie Freie Universität Berlin: »Wetterbeobachtung« (2016), in: <https://www.osa.fu-berlin.de>. Online unter: https://www.osa.fu-berlin.de/meteorologie/beispielaufgaben/o2_wetterbeobachtung/index.html (letzter Zugriff: August 2025).
- Fontaine, Dominique (2020): »Virtuality and Landscape«, in: Dennis Edler/Corinna Jenal/Olaf Kühne (Hg.), *Modern Approaches to the Visualization of Landscapes*, Springer: Wiesbaden, S. 276–278, https://doi.org/10.1007/978-3-658-30956-5_14.
- Gourault, Nicolas (2025): »Their Eyes«, in: <https://www.berlinale.de/>. Online unter: <https://www.berlinale.de/en/2025/programme/202513949.html> (letzter Zugriff: 20.11.2025).
- Howard, Luke (1832 [1803]): *Modifications of Clouds*, 3. Auflage, London: John Churchill & Sons.

- Ingold, Tim (1993): »The Temporality of the Landscape«, in: *World Archaeology* 25/2, S. 152–174.
- Jacobs, Geoff (2021): »The Early Days of 3D Laser Scanning, Part 11«, in: <https://www.xyht.com/>. Online unter: <https://www.xyht.com/energyutilities/the-early-days-of-3d-scanning-part-11/> (letzter Zugriff: 20.11.2025).
- Jacobs, Geoff (2020): »The Early Days of 3D Scanning, Part 6«, in: <https://www.xyht.com/>. Online unter: <https://www.xyht.com/energyutilities/the-early-days-of-3d-scanning-part-6/> (letzter Zugriff: 20.11.2025).
- Kim, Tae-Hyeong/Park, Tae-Hyoung (2020): »Placement Optimization of Multiple Lidar Sensors for Autonomous Vehicles«, in: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 21/5, S. 2139–2145, <https://doi.org/10.1109/TIT.2019.291508>.
- Leibenath, Markus/Gailing, Ludger (2011): »Von der Schwierigkeit, »Landschaft« oder »Kulturlandschaft« allgemeingültig zu definieren«, in: *Raumforschung Raumordnung* 70, S. 95–106, <https://doi.org/10.1007/s13147-011-0129-8>.
- Neff, Todd (2018): *The Laser that's Changing the World. The Amazing Stories behind Lidar from 3D Mapping to Self-Driving Cars*, New York: Prometheus Books.
- Peirce, Charles Sanders (1920): »Virtual«, in: James Mark Baldwin (Hg.), *Dictionary of Philosophy and Psychology* 2, New York: The Macmillan Company, S. 763–764.
- Peters, John Durham (2016): *The Marvelous Clouds. Toward a Philosophy of Elemental Media*, Chicago/London: University of Chicago Press.
- Perraudin, Léa (2024): *Elementare Ekstasen. Sondierungen der Technosphäre*. Lüneburg: meson press (Future Ecologies Series), <https://doi.org/10.25969/media-rep/23032>.
- Porkertová, Hana (2022): »Revising modern divisions between blindness and sightedness: Doing knowledge in blind assemblages«, in: *The Sociological Review* 70/3, S. 580–598, <https://doi.org/10.1177/00380261221076199>.
- Satsummit (2024): »Satellites Sensors and Properties. Geostationary Orbit vs. Low Earth Orbit«, in: landscape.satsummit.io. Online unter: <https://landscape.satsummit.io/capture/satellites-sensors-properties.html> (letzter Zugriff: 21.11.2025).
- Schrickel, Isabell (2012): »Von Cloud Seeding und Albedo Enhancement. Zur technischen Modifikation von Wetter und Klima«, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 4/1, S. 194–205, <https://doi.org/10.25969/mediarep/2682>.
- Simmel, Georg (1913): »Philosophie der Landschaft«, in: *Die Guldenkammer. Eine bremische Monatsschrift* 3, S. 635–644. Online unter: http://dramagraz.mur.at/dramagraz/produktionen/crimp/texte/simmel_philosophie.pdf (letzter Zugriff: 21.11.2025).
- Straube, Robert (2012): *Veränderte Landschaften, Formen und Funktionen des Landschaftsbildes in Lyrik aus der DDR*, Universität Halle-Wittenberg: Dissertationsschrift.

- Synkule, Sabine (2024): »Lidar in der Industrie«, in: *Elektronik Industrie*, S. 64–67.
- Taha, Nadine (2013): »Die Wettermacher als Grenzgänger. Zur industriell-militärischen Geschichte der Wettermanipulation«, in: *Navigationen – Zeitschrift für Medien- und Kulturwissenschaften* 13/2, S. 163–174, <https://doi.org/10.25969/mediarep/1276>.
- Tibebu, Haileleol/Roche, Jamie/De Silva, Demuni/Kondoz, Ahmet (2021): »LiDAR-Based Glass Detection for Improved Occupancy Grid Mapping«, in: *Sensors* 21/7, S. 2263, <https://doi.org/10.3390/s21072263>.
- Völter, Helmut (2012): »Masanao Abes Wolkenfotografien«, in: *Zeitschrift für Medienwissenschaft* 7/2, S. 104–112, <https://doi.org/10.25969/mediarep/575>.
- Zahid, Azlan/Mahmud, Sultan (2023): »LiDAR Sensing and Its Applications in Agriculture Encyclopedia of Digital Agricultural Technologies«, in: Qin Zhang (Hg.), *Encyclopedia of Digital Agricultural Technologies*, Springer: Cham, S. 769–777, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-24861-0>.
- Zhien, Wang/Menenti, Massimo (2021): »Challenges and Opportunities in Lidar Remote Sensing«, in: *Frontiers in Remote Sensing* 2:641723, S. 1–8, <https://doi.org/10.3389/frsen.2021.641723>.

Abbildungsnachweise

- Abb. 1: Quelle: <https://medium.com/yandex-self-driving-car/yandex-rolls-out-proprietary-lidars-across-av-fleet-3fodfa4b87f7> Yandex (2021) (letzter Zugriff: 01.09.2025)
- Abb. 2a&b: a) Royal Meteorological Society, Science Museum Group, London. Quelle: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co67203/cloud-study-of-nimbus-rainfall>. (letzter Zugriff: 01.09.2025); b) Royal Meteorological Society, Science Museum Group, London. Quelle: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co67175/cloud-study-of-light-cirro-cumulus-beneath-cirrus> (letzter Zugriff: 01.09.2025)
- Abb. 3: Quelle: Lu, Daniel L. (3.12.2019): Point cloud of a street intersection using a lidar mounted on a car. Datenvisualisierung eines LiDAR-Scans der Folsom Street in San Francisco. LiDAR-Modell: Ouster OS1 Lidar. Via: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ouster_OS1-64_lidar_point_cloud_of_intersection_of_Folsom_and_Dore_St,_San_Francisco.png (letzter Zugriff: 14.09.2025)