

BACHELORARBEIT

UAV-gestützte Datenerfassung und 3D-Visualisierungen
- Methodenvergleich am Beispiel
Sportpark Duisburg-Wedau



**Deckblatt
Bachelorarbeit**

Thema

UAV-gestützte Datenerfassung und 3D-Visualisierungen
- Methodenvergleich am Beispiel Sportpark Duisburg-Wedau

Verfasserin

Carolin Kemkes
geboren am 04.01.1995
Berkenkamp 11
48346 Ostbevern
Matr.-Nr.: 821285

Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur
Studiengang Freiraumplanung



HOCHSCHULE OSNABRÜCK
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Datum der Abgabe: 10.08.2020

betreuende Dozenten:
Erstprüfer Prof. Dr. Stefan Taeger
Zweitprüfer M.Eng. Moritz Thönnissen



Vieles entfaltet seine SCHÖNHEIT erst,
wenn es VON OBEN betrachtet wird.

Aus „Im Labyrinth sich selbst entdecken“ von Gernot Candolini

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen Dank an alle aussprechen, die mich auf dem Weg zur Bachelorarbeit auf unterschiedlichste Art und Weise unterstützt haben.

Zunächst gilt mein Dank meinen beiden Betreuern Prof. Dr. Stefan Taeger und M. Eng. Moritz Thönnissen für das Vertrauen in mein eigen formuliertes Thema und die Möglichkeit, diesen Sommer bei ihnen diese Arbeit zu schreiben. Beide haben mich bei aufkommenden Fragen mit ihrer ausgezeichneten fachlichen Kompetenz unterstützt. Ganz besonders möchte ich mich bei Moritz Thönnissen für jedes offene Ohr und die fachliche Betreuung während der Drohnenbefliegung bedanken.

An dieser Stelle möchte ich auch dem Planungsbüro Geo3 und der Stadt Duisburg für das zur Verfügung gestellte Beispielprojekt danken, ohne das diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Vielen Dank an das Büro Geo3 außerdem für die zur Verfügung gestellte Drohne und die fachliche Begleitung.

Bei der finalen Überarbeitung der Manuskripte habe ich großartige Unterstützung durch Jana Cleusters, meinen Freund Patrick Günner und meine Mutter Claudia Kemkes erfahren. Vielen lieben Dank!

Zuletzt gilt mein Dank meinen Kommilitonen Frauke Weerts, Lennart Harmeling, und Christian Lepper, die parallel selbst an ihrer eigenen Arbeit geschrieben haben, und wir uns so gegenseitig moralischen Beistand leisten konnten. Nicht nur während der Bachelor-Arbeit, sondern während unseres gesamten Studiums, habe ich unsere gemeinsame Zeit, die Inspirationen, Diskussionen, verschiedenen Perspektiven und das gegenseitige Interesse-Wecken sehr genossen.



Zusammenfassung

3D Visualisierungen haben in der Landschaftsarchitektur einen hohen Stellenwert für die Kommunikation zwischen allen Beteiligten. Insbesondere bei der Beteiligung von Laien vermitteln sie zielgerecht Informationen, ohne dass viel fachtechnische Interpretation notwendig ist. Durch den stetigen technischen Fortschritt verändern sich nicht nur die Möglichkeiten zur Erstellung einer 3D-Visualisierung sondern auch die Anforderungen an solche. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich in diesem Zuge mit den Möglichkeiten und Potenzialen von UAV-Bilddaten basierten 3D-Visualisierungen gegenüber einer herkömmlichen, händischen 3D-Umgebungsmodellierung.

Hierzu wird zunächst einen Überblick über verschiedene Einsatzmöglichkeiten von 3D-Visualisierungen im Planungsprozess generell und die damit verbundenen, variierenden Gestaltungsanforderungen an solche gegeben. Daraufhin wird thematisch in die möglichen Einsatzfelder von UAV-Systemen in der Landschaftsarchitektur, den technischen Stand und UAV-basierte Photogrammetrie eingeleitet.

Der Hauptteil der Arbeit besteht aus einem Methodenvergleich der drei Visualisierungsmethoden:

- ‚Händische Umgebungsmodellierung‘ (Methode 1)
- ‚2D-Drohnenbild-Hintergrund‘ (Methode 2)
- ‚3D Photogrammetrie-Umgebung‘ (Methode 3).

Anhand des Planungsbeispiels Sportpark Duisburg werden die 3 Visualisierungsmethoden durchgeführt, die statischen Visualisierungsergebnisse dargestellt und mit Hilfe eines Kriterienkataloges auf Grundlage der vorangegangenen Literaturrecherche bewertet.

Dabei wurde durch den hohen erzielten Realitätsgrad vor allem die Eignung der Methode 2 für statische, fotorealistische Visualisierungszwecke festgestellt, wodurch sie die herkömmliche 3D-Modellierung in einem breiten, möglichen Einsatzspektrum der Landschaftsarchitektur problemlos ersetzen kann. Die Methode 3, als die zweite UAV-basierte Methode, weist dagegen signifikante Defizite im Hinblick auf den erzielten Realitätsgrad auf. Eine Anwendung von UAV-gestützten Photogrammetrien in der Landschaftsarchitektur sollte im Hinblick auf die Möglichkeiten im Bereich VR und im Bereich Vermessung jedoch nicht ganz außer Acht gelassen werden.

Zusammenfassend lässt sich die herkömmliche, händische Modellierung durch UAV-gestützte Visualisierungstechniken eingeschränkt aber wirksam ersetzen. Es ist anzunehmen, dass sich dies mittel- bis langfristig noch intensiver weiterentwickeln lässt.

Summary

In landscape architecture, 3D visualizations have a high priority for improving communication between all parties involved. Particularly with the involvement of laypersons, they provide targeted information without the need for much technical interpretation. Constant technical progress not only changes the possibilities for creating a 3D visualization, but also the requirements for such. In this context, the present work deals with the possibilities and potentials of generated 3D visualization based on of UAV-supported images compared to traditional, manual 3D environment modelling.

For this purpose, an overview of the various possible applications of 3D visualizations in the planning process and the varying design requirements for such is provided. Subsequently, the possible fields of application of UAV image data in landscape architecture and in particular for the creation of 3D visualizations will be introduced.

The main part of the work consists of a method comparison of the three visualization methods:

- „manual environment modelling“ (Method 1)
- „2D drone image background“ (Method 2)
- „3D photogrammetry environment“ (Method 3).

The planning example Sportpark Duisburg is provided for which the three methods implemented, the static visualisation results are presented and evaluated with the help of a catalogue of criteria based on the previous literature search.

Due to the high degree of reality achieved, the suitability of Method 2 for static, photo-realistic visualization purposes was determined, making it preferable for replacing conventional 3D modeling in a wide range of possible applications in landscape architecture. On the other hand, Method 3, as the second UAV-based method, has significant shortcomings in terms of the degree of reality achieved. However, the use of UAV-supported photogrammetries in landscape architecture should not be completely ignored in view of the possibilities in VR and surveying.

In summary, traditional manual modelling can be replaced with UAV-supported visualization techniques in a limited but effective way. It is likely that this can be further developed in the medium to long term.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Zusammenfassung/Summary	II-III
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 EINLEITUNG	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
2 GRUNDLAGEN	3
2.1 3D-Visualisierungen	3
2.1.1 Historie und Stand der Technik	4
2.1.2 Qualitätsanforderungen und Darstellungsmöglichkeiten	6
2.2 UAV-Einsatz in der Landschaftsarchitektur	12
2.2.1 Stand der Technik	12
2.2.2 UAV-gestützte Bilddatenerfassung	15
2.2.3 Photogrammetrie	17
3 MATERIAL UND METHODE	19
3.1 Planungsobjekt und Gebiet	19
3.2 Drohnenbefliegung	23
3.2.1 Eingesetzte Drohne	23
3.2.2 Vorüberlegungen zur Drohnenbefliegung	24
3.2.3 Befliegungs-Durchführung	26
3.3 Vorgehensweise der 3 Visualisierungsmethoden	27
3.3.1 Händische Umgebungsmodellierung (Methode 1)	27
3.3.2 2D-Drohnenbild-Hintergrund (Methode 2)	30
3.3.3 Photogrammetrische 3D-Umgebung (Methode 3)	31
3.4 Entwicklung eines eigenen Kriterienkataloges zur Beurteilung der Ergebnisse auf gestalterische Qualität und praktische Anwendbarkeit	32

4	ERGEBNISSE	35
4.1	Händische Umgebungsmodellierung (Methode 1)	35
4.1.1	Ergebnisse	35
4.1.2	Bewertung auf Grundlage des Kriterienkataloges	37
4.2	2D-Drohnenbild-Hintergrund (Methode 2)	39
4.2.1	Ergebnisse	39
4.2.2	Bewertung auf Grundlage des Kriterienkataloges	41
4.3	Photogrammetrische 3D-Umgebung (Methode 3)	43
4.3.1	Ergebnisse	43
4.3.2	Bewertung auf Grundlage des Kriterienkataloges	45
4.4	Überblickmatrix Gesamtergebnisse	47
5	DISKUSSION	49
5.1	Ergebnisdiskussion	49
5.1.1	Händische Umgebungsmodellierung (Methode 1)	49
5.1.2	2D Drohnenbild-Hintergrund (Methode 2)	50
5.1.3	Photogrammetrische 3D-Umgebung (Methode 3)	51
5.1	Methodendiskussion	52
5.1.1	Beispielprojekt	52
5.1.2	Vorgehensweise UAV-Befliegung	53
5.1.3	Vorgehensweise der drei Methoden	53
5.1.4	Kriterienkatalog	54
6	FAZIT	55
7	AUSBLICK	56
8	Literaturverzeichnis	58
9	Eidesstattliche Erklärung	63
10	Anhang	64

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: 3D-Visualisierung als Kommunikationsbasis zwischen Experte und Laie (veränd. nach HILLER ET AL. 2013, S.5)</i>	3
<i>Abbildung 2: Anforderungen an 3D-Visualisierungen nach Planungsstand (zusammengefasst nach WISSEN 2007, S.63 ff; Mertens 2010, S.80; Stendel 2013, S.16 f; Bishop u. Lange 2005, S.85 ff)</i>	11
<i>Abbildung 3: UAV-Branchenbarometer 2018 nach Clees 2020, hervorgehobene Bereiche sind im engeren oder weiteren Sinne auf den Bereich Landschaftsarchitektur übertragbar</i>	13
<i>Abbildung 4: Vergleich Luftbildaufnahmen Drohne, Flugzeug, Satellit, veränd. nach KULLMANN 2017, S.134.</i>	15
<i>Abbildung 5: Auswirkung Flughöhe, Brennweite und Bildbreite auf GSD, veränd. nach PIX4D 2019</i>	16
<i>Abbildung 6: Verortung Planungsgebiet im Sportpark Duisburg Wedau (veränd. nach SÜHS 2015, S.3)</i>	19
<i>Abbildung 7: Lageplan ‚Sanierung Sportschule Wedau‘, unmaßstäblich (veränd. nach Geo3 GmbH 2020)</i>	21
<i>Abbildung 8: geplante Kamerastandpunkte Draufsicht</i>	24
<i>Abbildung 9: geplanter Befliegungsradius um Planungsgebiet, unmaßstäblich</i>	25
<i>Abbildung 10: Equipment bei der Befliegung</i>	26
<i>Abbildung 11: Piktogramm Methode 1</i>	27
<i>Abbildung 12: Piktogramm Methode 2</i>	30
<i>Abbildung 13: Hintergrund-Objekt</i>	30
<i>Abbildung 14: Bildeigenschaften</i>	30
<i>Abbildung 15: Piktogramm Methode 3</i>	31
<i>Abbildung 16: Workflow im Programm Metashape® (veränd. nach AGISOFT LLC 2019)</i>	31
<i>Abbildung 17: generierte Fläche Methode 1</i>	35
<i>Abbildung 18: Visualisierungsergebnis Methode 1_Perspektive 1</i>	36
<i>Abbildung 19: Visualisierungsergebnis Methode 1_Perspektive 2</i>	36
<i>Abbildung 20: generierte Fläche Methode 2</i>	39
<i>Abbildung 21: Visualisierungsergebnis Methode 2_Perspektive 1</i>	40
<i>Abbildung 22: Visualisierungsergebnis Methode 2_Perspektive 2</i>	40
<i>Abbildung 23: Detail-Gegenüberstellung des Wohnkomplexdaches der Sportschule Wedau aus Perspektive 2</i>	41
<i>Abbildung 24: generierte Fläche Methode 3</i>	43
<i>Abbildung 25: Visualisierungsergebnis Methode 3_Perspektive 1</i>	44
<i>Abbildung 26: Visualisierungsergebnis Methode 3_Perspektive 2</i>	44
<i>Abbildung 27: photogrammetrisch erzeugte Texturbilddatei der Methode 3</i>	46
<i>Abbildung 28: Visualisierungsergebnisse Perspektive 1 der Methoden 1-3 im Überblick</i>	48
<i>Abbildung 29: Visualisierungsergebnisse Perspektive 2 der Methoden 1-3 im Überblick</i>	48
<i>Abbildung 30: Wettbewerbsperspektive 1 (Kessler Krämer Landschaftsarchitekten in Competitionline 2020)</i>	50
<i>Abbildung 31: Wettbewerbsperspektive 2 (Glück Landschaftsarchitektur in Competitionline 2020)</i>	50
<i>Abbildung 32: Wettbewerbsperspektive 3 (UKLandschaftsarchitektur in Competitionline 2020)</i>	50

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Technische Daten der DJI Phantom 4 (DJI 2020, veränd. nach KERSTEN ET AL. 2019)</i>	23
<i>Tabelle 2: Technische Daten der Kamera (DJI 2020, BVCP 2016, veränd. nach KERSTEN ET AL. 2019)</i>	23
<i>Tabelle 3: Vergleich Flughöhe zu GSD und etwa benötigten Senkrecht-Bildern (nach Pix4D 2019 berechnet)</i>	25
<i>Tabelle 4: Wetterverhältnisse während Befliegung</i>	26
<i>Tabelle 5: verwendete Rechnerleistung</i>	27
<i>Tabelle 6: Zeitaufwand in h für Methode 1</i>	35
<i>Tabelle 7: Dateigrößen Methode 1</i>	37
<i>Tabelle 8: Zeitaufwand in h für Methode 2</i>	39
<i>Tabelle 9: Dateigrößen Methode 2</i>	39
<i>Tabelle 10: Zeitaufwand in h für Methode 3</i>	43
<i>Tabelle 11: Dateigrößen Methode 3</i>	43
<i>Tabelle 12: Übersicht Gesamtbewertung der 3 Methodenergebnisse</i>	47
<i>Tabelle 13: Übersicht Vor- und Nachteile Methode 1</i>	50
<i>Tabelle 14: Übersicht Vor- und Nachteile Methode 2</i>	51
<i>Tabelle 15: Übersicht Vor- und Nachteile Methode 3</i>	52

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional	HDR	High Dynamic Range
Abb.	Abbildung	Hg.	Herausgeber
AR	Augmented Reality	inkl.	inklusive
bzw.	beziehungsweise	km/h	Kilometer pro Stunde
ca.	circa	LA	Landschaftsarchitektur
CAD	Computer Aided Design	m/s	Meter pro Sekunde
d.h.	das heißt	MB	Megabyte
Dr.	Doktor	min	Minuten
Engl.	Englisch	o.J.	ohne Jahresangabe
erw.	erweiterte	Prof.	Professor
et al.	et alii	S.	Seite
etc.	et cetera	sek	Sekunden
f (ff)	folgende, fortfolgende	Tab.	Tabelle
GB	Gigabyte	u.	und
ggf.	gegebenenfalls	u.a.	unter anderem
GIS	Geoinformationssystem	überarb.	überarbeitet
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung	UAV	Unmanned Aerial Vehicle
GPS	Global Positioning System	vgl.	vergleiche
GNSS	Global-Navigation-Satellite-System	VR	Virtual Reality
h	Stunden	z.B	zum Beispiel

1 EINLEITUNG

3D visualisierte Darstellungen von Planungsvorhaben haben in der Landschaftsarchitektur eine hohe Bedeutung für alle Beteiligten. Sie helfen nicht nur dem Landschaftsarchitekten selbst, seine Planung im Hinblick auf das Raumgefühl und Einbindung in den Bestand zu überprüfen. Vielmehr werden sie als zentrales Mittel eingesetzt, um dem beteiligten Bürger oder Kunden die Planung verständlicher und anschaulicher zu machen. Für viele ‚Laien‘ sind 2D Pläne schwer zu lesen. 3D Visualisierungen hingegen schaffen durch eine perspektivische Darstellung eine verbesserte Lesbarkeit, und die Planung wird für den Betrachter emotional erlebbar (AI-Kodmany 1999 in Wissen 2007, S.48). Viele Autoren beschäftigen sich in Büchern und Aufsätzen mit den Techniken für eben solche 3D-Visualisierungen und stellen wie MERTENS (2010) und CURETON (2017) fest, dass das Spektrum der Möglichkeiten für dreidimensionale Bilder heute größer ist als je zuvor.

Eine mögliche Herangehensweise an eine Visualisierung ist die Perspektive aus der Vogelschau. Eine Visualisierung aus der Vogelperspektive wird vor allem dann sinnvoll, wenn eine Planung im Zusammenhang mit dessen Umgebung betrachtet werden soll oder wenn es sich um besonders großflächige Planungen handelt, für die ein Gesamteindruck über die räumliche Gliederung gegeben werden soll (MERTENS 2010, S.88). Dies ist beispielsweise bei dem betrachteten Planungsbeispiel des Sportparks Duisburg-Wedau der Fall. Hier sollen 3 neue Fußball-Großspielfelder entlang einer Regattastrecke entstehen. Die Planung soll anhand von 3D-Visualisierungen dem Bauherrn sowie der Öffentlichkeit vorgestellt werden.

1.1 Problemstellung

Generell gilt: Je wichtiger der Aspekt der Einbindung in den Bestand für ein Vorhaben ist, desto großzügiger sollte die angrenzende Umgebung dargestellt werden (WISSEN 2007, S.46). Durch den Einsatz von Modellierungsprogrammen haben Planer die Möglichkeit, eine solche Umgebung nach reellem Vorbild händisch zu modellieren und so eine Visualisierung der geplanten Anlage zu rendern. Tatsache ist jedoch, dass trotz der heutigen weit entwickelten technischen Standards, diese Art der 3D-Visualisierung bei Landschaftsarchitekten nicht weit verbreitet ist. Wenn Landschaftsarchitekten 3D Visualisierungen beispielsweise für Wettbewerbe benötigen, werden diese meist an spezialisierte Visualisierungs-Firmen ausgelagert und nicht im eigenen Haus angefertigt. Eine Marktanalyse der STATISTA GMBH (2015&2017) ergab, dass der Anteil von Grafiksoftware für Modellierung und Animation gegenüber CAD- und Grafiksoftware insgesamt weltweit im Jahre 2014 nur bei etwa 2,8 % lag. Die Tendenz bis 2020 ist nur schwach steigend. Dies könnte zum einen mit der Komplexität der 3D-Anwendungen begründet werden, zum anderen mit dem Zeitaufwand, den es benötigt, eine detaillierte Umgebung händisch zu modellieren.

Es liegt daher auf der Hand, nach einer nutzerfreundlicheren, vereinfachten und zeitsparenden Alternative zum Erstellen von 3D-Umgebungen zu suchen. An diesem Punkt setzt die vorliegende Arbeit an. Kameratechnisch heutzutage immer besser ausgestattete Drohnen (UAV-Systeme) liefern sowohl 2D Fotos aus der gewünschten Vogelperspektive (DJI TECHNOLOGY Co. 2020) als auch eine photogrammetrisch generierte dreidimensionale Abbildung der Umgebung (STEMMLER U. REITERER 2019, S.216), in der sich die Planung befinden soll. Dadurch besteht die Möglichkeit, durch UAV-basierte Grundlagen-Bilddaten, die händische Umgebungs-Modellierung für die Visualisierung einer Planung abgelöst werden kann. In der bisherigen Literatur und Forschung lassen sich keine beschriebenen Herangehensweisen für 3D-Visualisierungen von Planungsvorhaben auf Grundlage

von UAV-Bilddaten finden. Zwar lassen sich auf Wettbewerbsplattformen wie Competitionline GmbH Visualisierungen finden, die augenscheinlich auf UAV Bild-Hintergründen basieren. Jedoch wurden bislang keine idealisierten Standardverfahren formuliert, die eine optimale Vorgehensweise zur Aufnahme und Weiterverarbeitung von UAV-Bilddaten als Umgebungsgrundlage für 3D-Visualisierungen beschreiben. Außerdem wurde bislang kein Vergleich von UAV-Bilddaten basierten Umgebungsmodellierungen für 3D-Visualisierungen zu händisch modellierten Umgebungen anhand eines konkreten Planungsbeispiels aufgezeigt. Dementsprechend können für die vorliegende Arbeit keine Erfahrungswerte aus der Literatur hinsichtlich der optimalen Herangehensweise sowie Vergleichskriterien für verschiedene Visualisierungsmethoden herangezogen werden.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist es daher, unter Kapitel 2 zunächst Grundlagen zu 3D-Visualisierungen in der Landschaftsarchitektur zu erörtern, um einen Einstieg in das Thema zu erhalten. In diesem Kapitel wird außerdem der Drohneneinsatz in der Landschaftsarchitektur beschrieben, um einen kurzen Überblick über den Stand der Technik, die Einsatzmöglichkeiten sowie Bilddatenerfassung und Photogrammetrien mit Drohnen zu geben.

Daraufhin werden drei Varianten der 3D-Visualisierung vorgestellt, am konkreten Beispiel umgesetzt und deren jeweilige Ergebnisse dargestellt. Diese sind:

- die ‚Händische Umgebungsmodellierung‘
- der ‚2D-Drohnenbild-Hintergrund‘
- die ‚3D Photogrammetrie-Umgebung‘.

Anhand der eingehenden Recherche zu 3D-Visualisierungen sowie der gemachten praktischen Erfahrung bei der Umsetzung der 3 Methoden, sollen Kriterien formuliert werden, die die Ergebnisse im Hinblick auf die gestalterische Qualität sowie die praktische Anwendbarkeit bewerten.

Zusammenfassend lassen sich folgende Fragestellungen für meine Arbeit formulieren:

- 1) Für welche Anlässe im Planungsablauf sind 3D-Visualisierungen im Bereich der Landschaftsarchitektur allgemein sinnvoll?
- 2) Welche spezifischen Anforderungen sind für diese zu formulieren?
- 3) Welche unterschiedlichen Visualisierungs-Ergebnisse lassen sich bei den 3 beschriebenen Herangehensweisen der Umgebungsmodellierung erzielen?
- 4) Mit Hilfe welcher konkreten Kriterien lassen sich diese Ergebnisse der 3 Methoden im Hinblick auf gestalterische Qualität und praktische Anwendbarkeit bewerten?
- 5) Welche Anwendungsmöglichkeiten für 3D-Visualisierungen auf Grundlage von UAV-Bilddaten ergeben sich gegenüber der ‚herkömmlichen‘ händischen Modellierung aus den Ergebnissen und der daraus folgenden Bewertung der 3 Methoden?.

Die Punkte 4 und 5 sollen immer im Hinblick auf die eingehenden Erkenntnisse aus den mit der Rechercharbeit beantworteten Fragen 1 und 2 betrachtet bzw. vor dem Hintergrund dieser diskutiert werden.

2 GRUNDLAGEN

Bevor die 3D-Visualisierungen mit Hilfe von UAV-Bilddaten durchgeführt werden, sollen zunächst einige Grundlagen über 3D-Visualisierungen der Landschaftsarchitektur im Allgemeinen sowie den Drohneneinsatz in der Landschaftsarchitektur erarbeitet werden.

2.1 3D-Visualisierungen

Unter einer Visualisierung im Allgemeinen wird per Definition der Interpretationsprozess verstanden, bei dem mit Hilfe von traditionellen oder aktuellen, digitalen gestalterischen Mitteln komplizierte, abstrakte und fachliche Inhalte in eine anschauliche Form überführt werden. Diese sprechen überwiegend den Sehsinn an (WISSEN 2007, S.35). 3D-Visualisierungen dienen insbesondere dem Informationsaustausch zwischen Planern (Experten) und Laien (Nichtfachmann), ebenso wie 2D-Pläne, -ansichten und -schnitte (vgl. Abbildung 1). Nach FÜRST (2001 in WISSEN 2007, S.56) erschweren 2D-Plandarstellungen die Kommunikation zwischen diesen Zielgruppen aufgrund folgender Aspekte:

- 2D-Pläne haben eine eigene Fach- bzw. Symbolsprache,
- dadurch sind einzelne Planaussagen und deren rechtliche Folgen für Laien schwer zu verstehen,
- sie sind für Laien abstrakt und schwer in die eigene Lebenspraxis zu übertragen und
- der Kommunikationsstil spricht meist nur professionelle Adressaten an.

Hier können 3D-Visualisierungen Abhilfe leisten. Da kein fachspezifisches Wissen über Kartografie oder Kartensymbole benötigt wird, entsprechen sie einer der natürlichsten Arten der Kommunikation und werden meist intuitiv verstanden (AL-KODMANY 2001 in WISSEN 2007, S.57). 3D-Visualisierungen haben eine große Bandbreite an möglichen Einsatzanlässen im Planungsprozess. Sie dienen der eigenen, planerischen Überprüfung des Entwurfes sowie als Informations- und Diskussionsgrundlage für alle Planungsbeteiligten in jeder Leistungsphase, in Partizipationsprozessen mit Bürgern, bis hin zu Wettbewerbsbeiträgen, auf Bautafeln und in geleiteten Präsentationen. Insbesondere bei der Beteiligung von Laien haben 3D-Visualisierungen den Vorteil, dass wenig Interpretation notwendig ist, um Informationen zielgerichtet zu vermitteln (TRESS U. TRESS 2003 in WISSEN 2007, S.36). Außerdem bestehen durch die bessere Verständlichkeit von 3D-Visualisierungen im Gegensatz zum gesprochenen oder geschriebenen Wort, geringere Hindernisse für alle Beteiligten auf Planungsprobleme zu reagieren und sich aktiv in den Planungsprozess einzubringen (GILL U. LANGE 2015, S.356).

Visualisierungen können ihre Aufgabe, Informationen zu kommunizieren, am besten erfüllen, wenn sie auf die Prinzipien der menschlichen Wahrnehmung abgestimmt werden (STROTHOTTE 1998 in WISSEN 2005, S.89). Wie sich dies genau auf spezifische Anforderungen an 3D-Visualisierungen auswirkt, wird im Kapitel 2.1.2 näher erläutert. Vorab wird jedoch die Historie sowie der Stand der Technik von 3D-Visualisierungen vorgestellt.

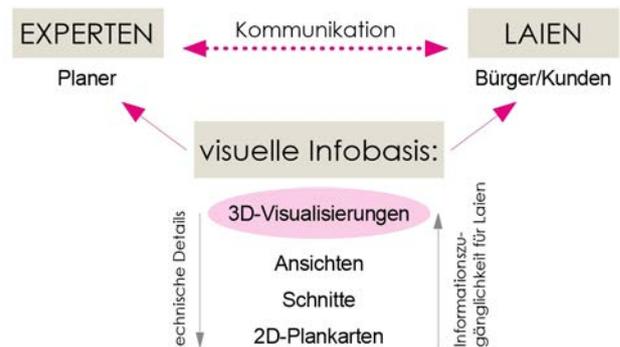


Abbildung 1: 3D-Visualisierung als Kommunikationsbasis zwischen Experte und Laie (veränd. nach HILLER ET AL. 2013, S.5)

2.1.1 Historie und Stand der Technik

Um die Basis der heutigen 3D-Visualisierung zu verstehen, ist zunächst ein kurzer Umriss über die historische Entwicklung der menschlichen, visuellen Kommunikation und der Entstehung der Perspektive zu geben. Seit jeher sind visuelle Darstellungen die prägende Ausdrucksform der Menschheit. Aufgrund der ersten Zeichnungen aus der Höhlenmalerei ab ca. 6000 v. Chr. (STENDEL 2013, S.11) kann man davon ausgehen, dass Pläne gezeichnet werden, seitdem Gärten, über den Obst- und Gemüseanbau hinaus, als repräsentative Orte genutzt werden (MERTENS 2010, S.11). In den ältesten Gärtenbildern aus Ägypten wurden gesetzte Objekte noch in der Seitenansicht als zweidimensionale Darstellung gezeigt. Eine Maßstäblichkeit war nicht gegeben, wodurch die Gewichtung eines Objektes durch die Darstellungsgröße symbolisiert wurde (EBD.). Trotz dieser heute untypischen Darstellung, dienten sie bereits damals dem verbesserten Verständnis des Raumes. Durch die Griechen und Römer wurden erste Übergänge zu Axonometrien geschaffen, die, wie jede Parallelperspektive, ohne perspektivische Verzerrung gezeichnet ist. (MERTENS 2010, S.13). Die Sehstrahlen verlaufen hier parallel, was den Vorteil hat, dass die Maßstäblichkeit wie im Grundriss eingehalten werden kann und ein ‚geordneter Überblick‘ über das gesamte Planungsvorhaben und dessen Umgebung entsteht (BISHOP U. LANGE 2005, S.5 f). Der Nachteil ist, dass der Betrachter bei der Axonometrie gezwungen ist, einen Standpunkt weit außerhalb der gezeigten Planung einzunehmen. Dadurch ist die Erlebbarkeit der Parallelprojektion für den Betrachter nie so hoch wie bei einer Perspektive, da die natürliche Seh Wahrnehmung des Menschen weitreichend beeinträchtigt wird (MERTENS 2010, S.70).

In der Zeit der Renaissance um 1500 wurden dann erste Entdeckungen der Perspektive schriftlich festgehalten, die bis heute der menschlichen, visuellen Wahrnehmung am nächsten kommt und dadurch die gängige Darstellungsform in 3D-Visualisierungen darstellt (CURETON 2017, S.4). Die Entdeckung der Perspektive in der Zeichnung war eine bahnbrechende Erfindung. Durch die proportionale Skalierung von Figur, Objekt und Raum wird versucht ein Bild zu erzeugen, das die Realität wahrheitsgetreu wiedergibt (NIQUILLE 2018, S.99). Perspektiven können mit einem oder mehreren Fluchtpunkten agieren, je nach Blickwinkel zum betrachteten Objekt (MERTENS 2010, S.18). Bei der Zentralperspektive wird ein Fluchtpunkt verwendet, wodurch dem Bild eine starke Ausdruckskraft verliehen wird. Normal- und Übereckperspektiven arbeiten mit zwei oder mehreren Fluchtpunkten. Gemäß dem Gesetz der Konvergenz werden alle Körper, Pflanzen und Gebäude mit zunehmender Entfernung vom Auge kleiner dargestellt und gleichen sich dem Bodenniveau/Horizont an (MERTENS 2010, S.72). Diese Gesetzmäßigkeiten gelten für 3D-Visualisierungen bis heute, doch die Technik hat sich verändert, und die Weiterentwicklung stoppt nicht (BISHOP U. LANGE 2005, S.6).

Noch bis in die 1980er Jahre wurden Pläne und Visualisierungen am Reißbrett entwickelt (GÜNTHER U. BORRMANN 2011, S.3). Einschließlich physikalischer Modelle, Skizzen und Aquarellzeichnungen haben analoge Techniken eine lange Tradition (GILL U. LANGE 2015, S.356). Dem entgegen steht die bisher modernste Entwicklung der Medien, der Computer (SEIFERT 2009, S.9). Durch den Einsatz von Computern finden verschiedene Software-Programme seit den 1980er Jahren massiven Einzug in die Visualisierungsarbeit von Landschaftsarchitekten (STENDEL 2013, S.13). Hauptsächlich sind hier die stetig weiterentwickelnden CAD-Programme (Computer-Aided-Design) als vektorbasierte Zeichenprogramme, aber auch die Bildbearbeitungsprogramme als Pixel verarbeitende Software zu nennen (ERWIN 2001 in STENDEL 2013, S.13). Auch die Vielfalt der einsetzbaren Darstellungsmedien hat sich, ausgehend vom analogen Medium Papier, erhöht. Verschiedene, fachbezogene Anwendung finden heutzutage in digitale Präsentationsarten vom Monitor über den Beamer bis hin zu großen 3D-Bildleinwänden statt (BISHOP U. LANGE 2005, S.69 f). Auch das World-Wide-Web

ermöglicht zusätzliche Kommunikationswege (POMASKA 2002, S.144 f). So können Bild- und Sachinformationen innerhalb von Sekunden per E-Mail an verschiedenste Adressaten vermittelt werden (GÜNTHER U. BORRMANN 2011, S.1 f). Dadurch besitzen Kommunikationsmedien ein großes Potenzial, die visuelle Kommunikation planerischer Inhalte effektiv zu unterstützen sowie potenzielle Konflikte bereits in frühen Planungsphasen zu erkennen und zu lösen (HEHL-LANGE & LANGE 2005 in WISSEN 2007, S.37).

Die technischen Möglichkeiten zur Erstellung einer Visualisierung sind heute so groß wie noch nie. Zur Erarbeitung einer Computer-Visualisierung sind grundsätzlich zwei unterschiedliche Strategien möglich. Die erste Möglichkeit zur Erstellung einer dreidimensional wirkenden Visualisierung ist die digitale Fotomontage, die in der Landschaftsarchitektur weit verbreitet ist (GILL U. LANGE 2015, S.356). Dabei werden, auf Grundlage von 2D-Standortfotos oder einer Skizze, Planungselemente mit Hilfe von Bildbearbeitungsprogrammen collagenartig übereinandergelegt (CURETON 2017, S.124). Nachteile der traditionellen 3D-wirkenden Fotomontage sind die aufwendige Aufbereitung, die Gefahr zu falschen geometrischen Informationen und Maßstabsungenauigkeit sowie die Beschränkung auf kleine Landschaftsausschnitte bei Visualisierung auf Augenhöhe (WISSEN 2007, S.36).

Auf der anderen Seite steht die digitale 3D-Modellierung, bei der die Perspektive von Grund auf neu, als fotorealistische oder abstrakte 3D-Umgebung modelliert und anschließend gerendert wird (CURETON 2017, S.124). Zu Beginn der Computerentwicklung war es technisch noch sehr aufwendig, ein digitales 3D-Landschaftsmodell zu erstellen und die Repräsentation der Landschaft relativ abstrakt. Mit der Weiterentwicklung der Hard- und Software sind heute digitale 3D-Visualisierungen mit einem hohen Realitätsgrad möglich (in folgendem Kapitel eingehender beschrieben). Als gängige Visualisierungsprogramme sind hierzu beispielsweise 3dsMax® der Firma Autodesk oder Cinema4D® der Firma Maxon zu nennen (KERSTEN ET AL. 2015, S.86). Insgesamt bietet der heutige Markt über 500 verschiedene Visualisierungsprogramme (EBD.). Dank des digitalen Fortschritts können sich außerdem beide unterschiedlichen Strategien vermischen. So können 3D-Elemente in einem 2D-Bild verwendet oder 2D-Bilder in ein 3D-Objekt konvertiert werden (CURETON 2017, S.124).

Die aktuelle Forschung zu dreidimensionalen Landschaftsmodellen konzentriert sich in der Regel auf Techniken zur Verbesserung des Fotorealismus (HOUSE ET AL. 1998 in GILL U. LANGE 2015, S. 356), des Eintauchens von Benutzern und der Modellkomplexität, ohne die Rendergeschwindigkeit zu beeinträchtigen (DEUSSEN 2003 in GILL U. LANGE 2015, S.356).

Schon Albrecht Dürer experimentierte mit Werkzeugen, um eine perspektivische Darstellung der Realität zu vereinfachen. Er veröffentlichte 1525 eine perspektivische ‚Zeichenmaschine‘, bei der sein Zeichenmotiv hinter einer mit einem Raster versehenen Glasscheibe positioniert war, während er das Motiv mithilfe eines gleich großen Rasters perspektivisch auf ein Blatt Papier übertrug (NIQUILLE 2018, S.99). Der Drang des Menschen, die Herangehensweise für 3D-Visualisierungen mittels verschiedenster Werkzeuge zu vereinfachen, hält bis heute an. Die Arbeit von Stendel über die Linienrastertechnik aus dem Jahre 2013 beispielsweise behandelt eine zum damaligen Zeitpunkt neue Technik zur Darstellung von Visualisierungen (STENDEL 2013). Visualisierungen, die mittels der Linienrastertechnik bearbeitet wurden, erzeugen bei Laien einen leicht dreidimensionalen und damit lebendigeren Eindruck als herkömmliche Bilder. Da der Effekt jedoch nicht sehr groß und der Herstellungsaufwand am Computer dafür umso höher ist, hat sich diese Technik nicht als praktikabel erwiesen und ist wieder vom Markt verschwunden (MERTENS 2010, S.68).

Auch der Einsatz von Game Engine Software als alternatives Visualisierungs-Werkzeug wird in unterschiedlichen wissenschaftlichen Studien untersucht (GLATTHARD 2017, S.20).

Vorteile bieten neben den reduzierten Datengrößen auch die Mehrspielerfähigkeit, bei der mehrere Anwender an verschiedenen Computern gleichzeitig über ein Netzwerk oder Internet dieselbe Visualisierung betrachten und über die Funktion des „Operators“ Objekte direkt anwählen, Skizzen zeichnen und Veränderungen an der Landschaft vornehmen können (EBD.). Nachteile sind, dass die generierte, dreidimensionale Umgebung mit räumlichen Koordinatensystemen nicht konfigurierbar und geometrische Validität nur schwer integrier- und prüfbar ist (MÄCHLER 2013, S. 42).

Seit den 1990er Jahren, in denen erstmals der Begriff *Argumented Reality* verwendet wurde (REINWALD ET AL. 2013, S.339), gewann das Prinzip der Echtzeitvisualisierung im Zusammenhang mit AR und VR deutlich an Dynamik (HILLER ET AL. 2003, S.1). Dabei handelt es sich um die realitätsnahe, bewegte Übertragung einer Situation in eine digitale Simulation (EBD.). Bei der Anwendung von AR und VR spricht man auch von ‚immersiven‘ Produkten. Immersivität beschreibt das Gefühl, sich in einer realen Umgebung zu befinden, der Nutzer fühlt sich in das Geschehen einbezogen (HEIM 1998 u. MACEACHREN ET AL. 2001 in BISHOP U. LANGE 2005, S.34). Da der Fokus dieser Arbeit jedoch auf dem Ergebnis von 3D Visualisierungen in Form von statischen Renderings liegt, die entweder papiergebunden oder als digitales 2D Erzeugnis verwendet werden, wird die tiefer gehende Beschreibung und Entwicklung der Echtzeitvisualisierung an dieser Stelle ausgeklammert und erst im Kapitel 7 ‚Ausblick‘ erneut aufgegriffen.

2.1.2 Qualitätsanforderungen und Darstellungsmöglichkeiten

Anstatt klaren Darstellungsregeln, wie es bei technischen 2D Plänen der Fall ist, folgen perspektivische 3D-Visualisierungen in der Landschaftsarchitektur eher den aktuellen Trends und passen sich an neue technische Möglichkeiten an. Oft erfolgt dies jedoch ohne klaren Auswahlprozess für eine spezifische Technik (Mülder 2018, S.8). Das bedeutet, dass die Wahl der Visualisierungsmethode meist opportunistisch, d.h. nicht zielorientiert und sachlich begründet ist. Dadurch werden wichtige Merkmale für die Erreichung des Kommunikationszieles, insbesondere die Realitätsnähe, nur unzureichend berücksichtigt (EBD.). Daher sollten, trotz eines gewissen zu wählenden Maßes an gestalterischer Freiheit, Anforderungen an 3D-Visualisierungen formuliert werden, um den Konflikt zwischen gewünschtem grafischem Ergebnis und notwendiger Kommunikationsfunktion entgegenzutreten.

Viele unterschiedliche Wissenschaftler setzen sich hierzu seit Jahren mit der Frage auseinander, welche grundlegenden Anforderungen an 3D-Visualisierungen in der Landschaftsarchitektur gestellt werden können und sollen.

BISHOP UND LANGE (2005) nennen in Anlehnung an SHEPPARD (2001) sechs Grundprinzipien, die unabhängig von Verwendungszweck, Medium und Ansatz der Visualisierung, als allgemeine normative Definition von Grundsätzen für 3D-Visualisierungen in der Landschaftsarchitektur gelten sollten:

- 1. Genauigkeit** (Visualisierungen sollten das tatsächliche oder überplante Erscheinungsbild der Landschaft so genau wie möglich simulieren; zumindest für die betrachteten Bereiche der Landschaft).
- 2. Repräsentativität** (Visualisierungen sollten den typischen oder wichtigen Bereich von Ansichten, Bedingungen und Zeiträumen in der Landschaft darstellen, der für das tatsächliche Projekt relevant ist).

3. Visuelle Klarheit (die Details, Komponenten und der Gesamthalt der Visualisierung sollten klar kommuniziert werden)

4. Interesse (die Visualisierung sollte das Interesse des Publikums wecken und halten, ohne das Publikum zu „blenden“).

5. Legitimität (Die Visualisierung sollte verteidigt werden können, indem das erwartete Maß an Genauigkeit und Unsicherheit klar beschrieben wird, und offensichtliche Fehler und Auslassungen in den Bildern vermieden werden).

6. Zugang zu visuellen Informationen (Visualisierungen und die zum Verständnis notwendigen Informationen sollten der Öffentlichkeit über verschiedene Formate und Kommunikationskanäle leicht zugänglich gemacht werden) (SHEPPARD 2001 in BISHOP U. LANGE 2005, S.86 ff).

Um diesen genannten Grundprinzipien gerecht werden zu können, werden im Folgenden eine Bandbreite an konkreten Instrumenten aus verschiedenen Forschungsansätzen und -schulen vorgestellt. Diese können projekt- und anlassbezogen so angepasst werden, dass sie die auf die spezifische Situation wirkenden Anforderungen erfüllen:

Blickwinkel

Der Standpunkt sowie der Blickwinkel und die Wahl des Visualisierungsrahmens sollten, insbesondere für die Erfüllung des 2. Grundsatzes ‚Repräsentativität‘, sorgfältig abgewogen werden. Damit die Qualität einer dargestellten Planung in einer Visualisierung beurteilt werden kann, muss diese möglichst umfassend oder zumindest die wichtigsten Ansichten des Entwurfes zeigen. Eine korrekte und übersichtliche Darstellung von Planungen stellt eine wichtige Anforderung an die Qualität einer Visualisierung dar (BISHOP U. LANGE 2005, S.81). Außer mittige, besonders niedrige oder hohe Blickwinkel, können außerdem die Spannung der Visualisierung erhöhen (CURETON 2017, S.124). Außerdem sollten, wie bei allgemeine Bildkompositionen, auch für landschaftsarchitektonische Visualisierungen die Regeln des goldenen Schnittes beachtet werden. Dies gilt bei der Positionierung des Horizontes oder der Bildaufteilung insgesamt (MACH U. PETSCHKE 2006, S.10).

Der persönliche Standpunkt ist die Position des Betrachters in der Perspektive (MERTENS 2010, S.88). Es lassen sich zwei Typen unterscheiden, die für verschiedene Planungssituationen eigene Vorteile haben:

Fußgängerperspektive

Bei der „richtigen Fußgängerperspektive“ wird die Planung in der Regel auf Blickhöhe einer Person im Gelände dargestellt (WISSEN 2007, S.41). Durch eine perspektivische Darstellung auf Augenhöhe wird der menschliche Maßstab in den Entwurf eingeführt. Die Nutzung des geplanten Raumes kann so simuliert und geprüft werden. Ein normiertes Proportionssystem für Kamerapositionen auf menschlicher Augenhöhe liegt bei etwa 1,83 m Höhe (NIQUILLE 2018, S.101). Eine Variante der Fußgängerperspektive ist der Blick aus einer Höhe von etwa 3 - 5 m oberhalb des Bodens. Er ermöglicht dem Betrachter einen etwas größeren Überblick über einen Platz oder eine geplante Fläche, ohne dass er selbst Akteur der Szene ist. Zwar verliert der Betrachter die Nähe zum Ort, jedoch hat der Kamerastandpunkt technische Vorteile, da vertikale Linien, wie Gebäudekanten, im Vergleich zu Kameraeinstellungen in der Fluchtpunktperspektive auf Augenhöhe, weniger stark kippen (MACH U. PETSCHKE 2006, S.107).

In der Fußgängerperspektive kann durch die Darstellung von Menschen sowohl die geplante Nutzung als auch der Maßstab von geplanten Objekten transportiert werden (MERTENS 2010, S.72). In 3D-Visualisierung eingefügte Personen können mit Hilfe von Fotos aus der Wirklichkeit sehr realitätsnah oder durch schemenhafte Figuren sehr abstrakt dargestellt werden. Realistisch dargestellte

Menschen ziehen die Aufmerksamkeit auf sich und beleben das Bild. Zurückhaltendere Darstellung von Menschen lenken den Fokus eher auf den Entwurf (MERTENS 2010, S.80).

Vogelperspektive

Bei einem Perspektivstandpunkt aus der Vogelschau befindet sich der Betrachter stark oberhalb bzw. außerhalb der betrachteten Planungsfläche. Dadurch wird dem Betrachter einen Überblick über das gesamte Planungsgebiet ermöglicht. Die Gliederung der Flächen und die Verflechtung mit dem umliegenden Bestand sind sehr gut verständlich (MERTENS 2010, S.88). Eine Vogel- bzw. Luftperspektive wird bevorzugt, wenn das Schemata der Gesamtplanung dargestellt werden soll (CURETON 2017, S.124). Vor allem im Bereich der Stadtplanung werden zur Darstellung von Planungen Vogelperspektiven verwendet (MACH U. PETSCHKE 2006, S.103). Von der Landschaftsplanung bis hin zur Landschaftsarchitektur eignen sich Vogelperspektiven für die Darstellung von großflächigeren Planungsgebieten, wie beispielsweise Parkanlagen (WISSEN 2007, S.65). Gegenüber einer Fußgängerperspektive, bei der die Gefahr besteht, dass der Planer nur die ihm ästhetisch gefälligsten Blickwinkel auf die Planung darstellt (JESSEL ET AL. 2003 in WISSEN 2007, S.55), weisen übersichtliche Vogelperspektiven eine deutlich höhere Repräsentativität für die Darstellung der Planung auf (WISSEN 2007, S.55). Nach KULLMANN (2017) besitzt das Produkt der Vogelperspektive durch die zyklische Anziehungskraft des Vogelauges, kombiniert mit einem strukturellen Überblick über die geplante Landschaft, die Fähigkeit, das Eintauchen in die Landschaft einem allgemeinen Publikum zu ermöglichen (KULLMANN 2017, S.134 f).

Realitätsgrad

Der umgesetzte Realitätsgrad einer Visualisierung wirkt sich maßgeblich auf die Erfüllung der Punkte ‚Genauigkeit‘ und ‚Legitimität‘ nach Sheppard (2011) aus. Unter einem hohen Realitätsgrad versteht man eine nahezu fotorealistische Abbildung der tatsächlichen Landschaft. Je mehr spezifische Texturen und Geometrien bei der Modellierung der Objekte verwendet werden (z.B. ein bestimmtes Einfamilienhaus an einem bestimmten geografischen Ort), umso realistischer wirkt die Visualisierung. Die spezifischen Texturen wären dabei Oberflächentexturen, die auf tatsächlichen Fotos (Luftbildern oder gewöhnliche Fotos von Oberflächen) der ortsspezifischen Elemente basieren (BISHOP U. LANGE 2005, S.40). Bei dem Betrachter kann eine realitätsnahe Darstellung auslösen, dass die Umsetzung der Planung als realistisch oder sogar als Notwendigkeit angesehen wird (MERTENS 2010, S.67). Außerdem steigert eine fotorealistische Darstellung die Planungstransparenz und damit auch die Glaubwürdigkeit beim Adressaten (SHEPPARD 2005 in STENDEL 2013, S.16). Planinhalte werden von Beteiligten eins-zu-eins aufgefasst und weniger interpretiert (PERKINS 1992 in STENDEL 2013, S.17). Dadurch wird der fotorealistische Darstellungstyp insbesondere in fortgeschritteneren Planungsständen verwendet, wenn der Eindruck vermittelt werden soll, dass die Visualisierung bereits einen Endzustand darstellt und kein verhandelbares Zwischenergebnis (WISSEN 2007, S.65). Je höher allerdings der gewünschte Realitätsgrad, desto höher wird in der rein händisch Modellierung auch der Arbeitsaufwand, da bestehende ortstypische 3D Objekte für Vegetation und Gebäude rar sind und gerade das Modellieren von 3D Objekten sehr zeitaufwendig ist (WISSEN 2007, S.59).

Die vier folgenden Kategorien werden als Unterkategorien bzw. Einflussgrößen des Realitätsgrades aufgeführt:

Wiedererkennungselemente Landschaft

Durch die Darstellung von Objekten in der dritten Dimension wird die menschliche Wahrnehmung angeregt und eine fotografische Dokumentation der entsprechenden Bilder erzeugt. Das darge-

stellte Objekt, bzw. die dargestellte Landschaft, bleibt demnach als dreidimensionale Visualisierung besser im Gedächtnis als eine zweidimensionale (MERTENS 2010, S.66). Als visuelles Wesen hat der Mensch Fähigkeiten zur Bildanalyse und Objekterkennung, die von keinem technischen System übertroffen werden (SEIFERT 2009, S.4). Landschaften lassen sich anhand von speziellen Elementen charakterisieren und wiedererkennen (WISSEN 2007, S.59). Dies trifft im selben Maße auf synthetische, wie auf reale Landschaften zu. Zu diesen essenziellen Landschaftselementen gehören das Gelände, die Vegetation sowie anthropogene Strukturen wie Gebäude und Straßen. Zusätzliche Elemente können Tiere und Menschen sein, diese fördern lediglich nebensächlich die Charakteristik einer Landschaft (EBD.). Damit die planungsrelevante Information vermittelt werden kann, müssen die wesentlichen Landschaftsmerkmale gut erkennbar dargestellt oder hervorgehoben werden (NICHOLSON-COLE 2005 in WISSEN 2007, S.66).

Bei der Betrachtung der Umwelt nimmt der Mensch Reize als Nervenimpulse in das Gehirn auf. Dort werden sie gefiltert, strukturiert und als Informationen abgespeichert. Dies beruht immer auf dem Vergleich mit bisherigen Erfahrungen, die dabei helfen, die Information besser einzuordnen und als richtig oder falsch zu werten (ALEXANDER 2013, S.15). Das bedeutet, je mehr realistisch dargestellte, markante Landschaftselemente in eine Visualisierung eingebaut sind, desto größer die Chance ist, dass das menschliche Gehirn dieses Bild als gewohnt und angenehm abspeichert.

Farbe

Farben erregen unsere Aufmerksamkeit (ALEXANDER 2013, S.17). Bereits aus altägyptischen Zeichnungen lassen sich bis heute gültige Farb-Assoziierungen der Natur ableiten, die der Vorstellung der meisten Menschen entsprechen: Grün für Baumkronen, Braun für Baumstämme, Blau für Wasser, Rot für Bauwerke (MERTENS 2010, S.12). Die Lesbarkeit einer Grafik verringert sich jedoch bei einer Überfrachtung mit Farbe, insbesondere wenn die Komplexität der Verteilung zunimmt (BERTIN 1982 in WISSEN 2007, S.92). Daher sollte bei 3D-Visualisierungen bewusst auf die Farbgebung von einzelnen Elementen, aber auch auf die Gesamt-Farbigkeit der Visualisierung geachtet werden. Insgesamt sind mit den Farben schwarz, orangerot, grün, violettblau, gelb, magentarot, cyanblau und weiß acht Grundfarben mit dem menschlichen Sehorgan als Farbempfindungen möglich (KÜPPERS 2004 in WISSEN 2007, S.91). Dabei vermittelt jede Farbe eine spezielle Symbolik. Beispielsweise vermittelt die Farbe grün eine beruhigende, spielerische Sinnesempfindung und verkörpert die Symbole Natur, Hoffnung, Lebensfreude, Zukunft und Gesundheit. Farbtöne wie rot und gelb verkörpern Aufmerksamkeit, Achtung und Gefahr. Sie regen damit Leidenschaft und Kommunikation an (HELLER 1989 in ALEXANDER 2013, S.21).

Viele landschaftsarchitektonische Entwürfe, und damit auch deren Visualisierung, zeichnen sich durch ein hohes Maß an Vegetation aus, wodurch deren Farbigkeit im besonderen Maße beachtet werden sollte. Werden Pflanzen wie Bäume in Visualisierungen jahreszeitlich unnatürlich dargestellt, erhöht das die Skepsis des Betrachters gegenüber der Visualisierung, was dazu führt, dass die gesamte Planung hinterfragt wird (WARREN-KRETSCHMAR U. TIEDKE 2005 in STENDEL 2013, S.17). Eine Darstellung der Bäume passend zur aktuellen Jahreszeit (helle, frische Grüntöne im Frühjahr/warme, orange-braun-rote Laubtöne im Herbst etc.) ist daher unbedingt empfehlenswert (EBD.).

Helligkeit und Kontrast

Durch das Spiel mit Helligkeitswerten und Kontrast fällt es dem menschlichen Auge leichter verschiedene Elemente voneinander zu unterscheiden. Dadurch können in Visualisierungen verschiedene Planungselemente bewusst hervorgehoben oder bestehende Elemente in den Hintergrund gestellt werden (TUFTTE 2002 in WISSEN 2007, S.90).

3D-Visualisierungen können außerdem bei unterschiedlich hellen und dunklen Wetterlagen dar-

gestellt werden. Dies beeinflusst maßgeblich die Stimmung, die beim Betrachten der Visualisierung erzeugt wird. Meist werden für 3D-Visualisierungen in der Landschaftsarchitektur Situationen bei gutem Wetter mit Sonnenschein und wenig Wolkenbedeckung gewählt. Seltener werden in der Landschaftsarchitektur bewölkte Himmel oder Situationen bei stark regnerischem Wetter dargestellt. Diese werden meist nur für Architekturvisualisierungen verwendet, bei denen das Gefühl vermittelt werden soll, dass die Gebäude als warme, sichere Zufluchtsorte bei schlechtem Wetter dienen (MERTENS 2010, S.68).

Tiefenunschärfe

Der Einsatz von Tiefenunschärfe kann als direktes Instrument zur Unterstützung der visuellen Klarheit eingesetzt werden, indem entfernte Objekte perspektivisch verwischt und damit die im Vordergrund liegenden Objekte fokussiert werden (MACH u. PETSCHER 2006, S.12). Abgeleitet wird dieser Effekt aus den Gesetzmäßigkeiten des natürlichen, menschlichen Sehens. Durch motorische Einschränkungen des menschlichen Auges, gelingt es diesem bei zunehmender Entfernung nicht mehr die wahrgenommenen Bilder der linken und rechten Netzhaut übereinander zu legen, wodurch die Objekte in weiter Entfernung verschwimmen (Alexander 2013, S.238).

Für die künstliche Umsetzung der Tiefenunschärfe bei der Erstellung von 3D-Visualisierungen können zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt werden. Zum einen kann manuell die Detailintensität in Abhängigkeit der Entfernung nachlassen, das heißt, je weiter entfernt, desto weniger spezifische und gleichzeitig detailärmere Landschaftsobjekte werden dargestellt (CURETON 2017, S.137 f).

Auf der anderen Seite kann mit visueller „Diffusivität“ bzw. dem Verschwimmen/Zurücktreten der Schärfe von Objekten mit zunehmender Entfernung gearbeitet werden. Dies kann durch die Einstellung der digitalen Kamerablende sowie über spezielle ‚Diffus-Tags‘ im 3D-Programm als Rendereinstellung künstlich erzeugt werden (Sondermann 2009, S.219 f). Eine offene Blende lässt beispielsweise mehr Licht herein und sorgt für eine stärkere Tiefenunschärfe (CURETON 2017, S.123). Zu beachten ist dabei, dass diese zusätzlichen Rendereinstellungen Auswirkungen auf den Rendevorgang haben können, da eine hohe Grafikkartenkapazität benötigt wird (Sondermann 2009, S.219 f).

Abstraktionsgrad

Im Gegensatz zum hohen Realitätsgrad kann ein „abstrakter Darstellungstyp“ als eine sehr symbolische Repräsentation der Landschaft definiert werden, die sich durch einfache Volumen (z. B. zur Darstellung eines Hauses) oder einfache Farbtexturen auszeichnet (DANAHY 1997 in WISSEN 2007, S.60). Die verwendeten Symbole repräsentieren dabei sein Objekt als etwas Allgemeines durch die Vermittlung einer Konvention bzw. einer Gesetzmäßigkeit (ALEXANDER 2013, S.204). Insbesondere in frühen Planungsstadien ist durch schemenhafte Darstellungen ein Interpretationsfreiraum zu wahren, damit der Entwurf offen für Diskussionen bleibt (MERTENS 2010, S.84). Im Abgleich mit den Grundsätzen nach Sheppard (2001) lässt sich mit der Anwendung des abstrakten Darstellungstypen weniger der 1. Punkt ‚Genauigkeit‘ erfüllen, dafür die Punkte ‚Interesse‘ und ‚Legitimität‘ je nach Planungsstand.

Kunsteffekte

Zusätzlich wirken sich verschiedene Bildgestaltungseffekte auf die Darstellungseigenschaften von 3D-Visualisierungen aus. Einen ästhetischen Effekt zur Verstärkung der Fokuswirkung erzeugt beispielsweise ein Bokeh oder unscharfe Lichtpunkte, die die Visualisierung rahmen. Diese können mit Hilfe von Fotonachbearbeitungsprogrammen hinzugefügt werden (MACKIE ET AL. 2008 in CURETON 2017, S.124). Als zusätzliches Stilmittel zur künstlichen Hervorhebung der Planung kann beispiels-

weise die Umgebung um das Planungsgebiet in schwarz-weiß, und die Planung an sich getönt dargestellt werden (MERTENS 2010, S.96). Unklare, irrationale oder fast surreale Darstellungen einer Planung können den Zweck verfolgen, dass sich die Betrachter länger und möglicherweise auch intensiver mit dieser beschäftigen (MERTENS 2010, S.67). Dies kann insbesondere bei 3D-Visualisierungen für Wettbewerbsbeiträge von Vorteil sein (STENDEL 2013, S.215).

Nebel, Rauch, Dunst und Partikel auf Linsen schaffen darüberhinaus ein atmosphärisches Gefühl. Diese können entweder direkt in der 3D Umgebung über lokale Wetter-Systeme eingestellt oder über Bildnachbearbeitungsprogramme hinzugefügt werden (CURETON 2017, S.155 ff).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die beschriebenen, einzelnen Kategorien teilweise miteinander konkurrieren bzw. sich gegenseitig widersprechen, wie z.B. die interesseweckende Bildbearbeitung mit dem hohen Anspruch an Realitätsgenauigkeit. Daher sollte sich die Festlegung des konkreten Darstellungsstils immer an den spezifischen Zielsetzungen und Anforderungen der konkreten Planungsanlässe orientieren.

Die Anforderungen, die sich anhand von unterschiedlichen Planungsanlässen und den damit verbundenen Adressaten ergeben, lassen sich abschließend wie folgt zusammenfassen:

Anlass/ Planungsstand	Adressat/ Betrachter	Ziele	Anforderungen	
fortschrittliche Planung ▼	Wettbewerb	Jurie (Fachplaner, Bürger, Investoren, Gemeinderäte)	Interesse wecken und halten, verkaufen von Ideen, Unterstützung der Entscheidungsfindung und emotionalen Bewertung	keine strengen, formalen Anforderungen, künstlerische Freiheit für den Planer, Darstellung von symbolisch - realistisch möglich
	Participationsprozesse	Bürger	verständliche Diskussionsgrundlage für alle Beteiligten insb. Laien schaffen,	Verzicht auf Verschönerung/ Blendungs-Effekte -> realistische, saubere Darstellung des Soll-Zustandes, grafische Konzentration auf das Wesentliche
	Vor-/ Entwurf	Bauherr externe Planer	Variantengegenüberstellung: (grobe) Entwicklung von Flächengliederung, Raumbildung und Objektverteilung -> Ideenvermittlung, Unterstützung von Diskussion zwischen allen Beteiligten	Vereinfachung notwendig, schnelle & kostengünstige Umsetzung der Visualisierung erforderlich um auf Varianten reagieren zu können
	Ausführung/ Bauschild	Bauherr	Diskussionen über Details Darstellung der Planung auf Bauschild -> Informationsbasis für Presse und Öffentlichkeitsarbeit	hoher Detailgrad, hoher Realitätsgrad, Wahl von möglichst repräsentativen Standpunkten und Blickwinkeln

Abbildung 2: Anforderungen an 3D-Visualisierungen nach Planungsstand (zusammengefasst nach WISSEN 2007, S.63 ff; Mertens 2010, S.80; Stendel 2013, S.16 f; Bishop u. Lange 2005, S.85 ff)

Welche spezifischen Anforderungskriterien speziell für die Visualisierungs-Bewertung in dieser Arbeit Anwendung finden, wird in Kapitel 3.4. nach der Vorstellung des zu Grunde gelegten Planungsvorhabens erläutert.

2.2 UAV-Einsatz in der Landschaftsarchitektur

Nachdem die Grundlagen zu 3D-Visualisierungen in der Landschaftsarchitektur bearbeitet wurden, wird nun auf die zweite Säule dieser Arbeit eingegangen. In diesem Grundlagenkapitel, 'Drohnen-einsatz in der Landschaftsarchitektur' soll in 2.2.1 zunächst kurz Bezug zum Stand der Technik genommen werden, in dem ein kurzer Überblick darüber gegeben werden soll, in welchen Bereichen der Landschaftsarchitektur der Einsatz von Drohnen allgemein sinnvoll ist. In den beiden folgenden Unterkapiteln 2.2.2 und 2.2.3 soll speziell auf die für diese Arbeit relevanten Themen der UAV-gestützten Bilddatenerfassungen und Photogrammetrien eingegangen werden.

2.2.1 Stand der Technik

Per Definition handelt es sich bei Drohnen um unbemannte Luftfahrzeuge (UAV), die ohne menschlichen Piloten an Bord arbeiten (TECHOPEDIA GROUP o.J.). In den letzten Jahrzehnten hat sich UAV und dessen Relevanz in der alltäglichen Realität, aber auch speziell im Bereich Landschaftsarchitektur, stark weiterentwickelt. In dem McKinsey-Bericht (2016) wurde eine enorme Zunahme von UAV im Bau- und Planungssektor mit einer Steigerung von etwa 239% in den letzten 10 Jahren festgestellt (CURETON 2019, S.2 f). Dieser Trend wird sich in Deutschland vermutlich auch in der Zukunft weiterverfolgen lassen: eine Prognose der STATISTA GMBH (2019) sagt voraus, dass die Nachfrage an kommerziell genutzten Drohnen in Deutschland von 2020 bis 2030 von 0,6 Milliarden auf 2,5 Milliarden steigen und sich somit mehr als vervierfachen wird (STATISTA GMBH 2019). Der Ursprung von Drohnenanwendungen liegt im Militär, in der Drohnen während des Krieges als Spionage- oder Aufklärungsfahrzeuge eingesetzt wurden (TECHOPEDIA GROUP o.J.). Das breite Einsatzspektrum von Drohnen im Bereich der Sicherheit und Gefahrenabwehr (CLEES 2020) wird in dieser Arbeit jedoch komplett ausgeklammert, da es für das Feld der Landschaftsarchitektur keine Relevanz hat.

Grundsätzlich kann zwischen High-End und Low-Cost Drohnen unterschieden werden (GRAHLMANN ET AL. 2020, S.3). Low-Cost-UAV zeichnet sich durch Flugobjekte (meist Quadrocopter) mit festmontierten On-Board-Kameras aus, ohne jegliche Sensorsysteme, wie es bei High-End-UAV der Fall ist (CLEES 2020). High-End-UAV oder auch Quadro- bzw. Multicopter genannt, können mit einer unterschiedlichen Anzahl an Rotoren ausgestattet werden, was sich insbesondere auf die mögliche Nutzlast und Geschwindigkeit auswirkt. In der Regel kommen dabei Systeme mit vier (Quadrocopter) bzw. sechs oder acht Propellern (Multicopter) zum Einsatz (CLEES 2020). Diese können wiederum mit frei wählbaren Kameras (vgl. Kapitel 2.2.2) oder hochtechnologischen Sensorsystemen wie Nahinfrarot-, Thermal- oder Laserscansensorik ausgestattet werden. Zur Aufnahmefähigkeit sehr hoher Nutzlasten werden große Multicoptersysteme heutzutage teilweise mit Verbrennungsmotoren betrieben. Dies stellt sich jedoch als keine effiziente Zukunftsvariante dar, da Drohnen mit Elektromotoren wesentlich einfacher gesteuert werden können, als Systeme mit Verbrennungsmotoren (GÜNTNER U. BORRMANN 2011, S.53). Basierend auf den aktuellen Batterietechnologien können Flächen von bis zu 40 Hektar in optischen, Nahinfrarot- oder thermischen Formaten erfasst werden (KULLMANN 2017, S.135).

Durch ihren flexiblen Einsatz ermöglichen UAV-Systeme insbesondere im Bereich der Landschaftsarchitektur diverse Anwendungen (GRAHLMANN ET AL. 2020, S.3). Dies kann insbesondere auf die Benutzerfreundlichkeit der automatisierten Drohnenavigation zurück geführt werden, durch die die Verbreitung der Drohnen in der Landschaftsarchitektur maßgeblich erhöht wird (KULLMANN 2017, S.136). Durch die Integration von GPS in integrierte Avioniksensoren wird die automatisierte Naviga-

tion ermöglicht, wie zum Beispiel die Vordefinition virtueller Flugwege, aber auch die automatische Verfolgung eines Bodenobjektes vom Himmel aus (KULLMANN 2017, S.134).

Im Bereich der **Planung** liefern UAV-gestützte Kamerasysteme stabile Bildaufnahmen (CLEES 2020), die als Grundlage für Planungszeichnungen und -perspektiven genutzt werden können. Auch durch die BIM-Kompatibilität von drohnenbasierten 3D-Modellen wird der Landschaftsarchitekt in der Zukunft durch UAV-Systeme unterstützt (CURETON 2019, S.2 f).

Auch für den Bereich des **Marketings** und der Öffentlichkeitsarbeit werden insbesondere von Landschaftsarchitekturbüros UAV-gestützte Bild- und Videoaufnahmen generiert, um aus verschiedensten Blickwinkeln ihr fertiggestelltes Bauvorhaben optimal in Szene setzen zu können (KRÖNIGER ET AL. 2020).

Die größte Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten von Drohnen in der Landschaftsarchitektur liegt vermutlich im Bereich der **Vermessung** bzw. Geodäsie. Dies lässt sich auch aus dem UAV-Branchenbarometer (CLEES 2020) in Abbildung 3 entnehmen. Egal ob im Planungsbüro, in der öffentlichen Kommune oder von ausführenden Betrieben werden Drohnen für die Bestandserfassung von Planungs- und Bauflächen in Form von Höhenschichtmodellen sowie digitalen Gelände- oder Oberflächenmodellen (DGM/DOM) eingesetzt (UNGER ET AL. 2017, S.717 f). Diese können im Hinblick auf die HOAI sowohl in der Leistungsphase 1 der Grundlagenermittlung, als auch in Leistungsphase 8 für Ermittlung und Dokumentation des Bauablaufes oder als Grundlage für Abrechnungen genutzt werden (CLEES 2020). Folgende Beispiele sollen hier nur einen kurzen Ausschnitt darstellen: Leichtgewichtiges Laserscan-System (LiDAR) mit integrierten Kameras ermöglicht der STRABAG AG die Überwachung von Großbaustellen (STEMMLER U. REITERER 2019, S.214). Friedhöfe werden von Kommunen mittels Drohnen-Geodatenerfassung digitalisiert und die Daten in Verwaltungssysteme sowie GIS Software integriert (UNGER ET AL. 2017, S.717). Mit Hilfe von Drohnenbefliegungen generieren Landschaftsbaubetriebe kurzfristig georeferenzierte 3D Modelle von Baugruben oder

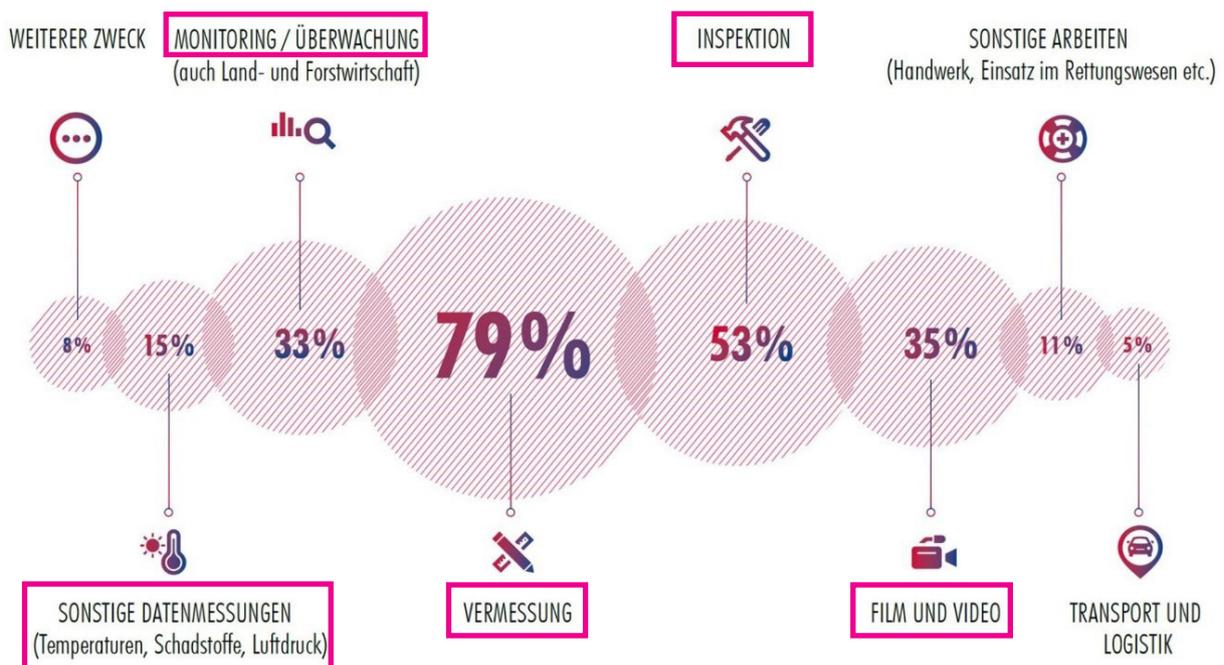


Abbildung 3: UAV-Branchenbarometer 2018 nach Clees 2020, hervorgehobene Bereiche sind im engeren oder weiteren Sinne auf den Bereich Landschaftsarchitektur übertragbar

Materialmassen, mit denen Kubaturen für Abrechnungen und Lagerinventuren berechnet werden können (EBD.).

Insbesondere für unwegsame Projektgebiete und schwer zugängliche, komplexe Landschaften, weisen Drohnen gegenüber terrestrischen Vermessungssystemen klare Vorteile auf. Im Bereich des Tagebaues (UNGER ET AL. 2017, S.720 f) oder bei der Erfassung von Küstengebieten (TIEPOLT U. KITTEL 2014, S.13) gewährleisten Drohnen eine effiziente oder sichere Datengewinnung. Weitere Vorteile sind die tagesaktuelle und zügige Verfügbarkeit der Daten (UNGER ET AL. 2017, S.717), sowie die Fähigkeit von Drohnen verschiedenste Regionen kurzfristig zu befliegen und weitestgehend jahreszeitenunabhängig zu sein (CURETON 2019, S.2 f). Nach KULLMANN verstärkt die Bestandserfassung mittels Drohnenkartierung außerdem die Interaktion des Landschaftsarchitekten mit dem Standort und hilft ihm dabei, den zu beplanenden Raum besser zu verstehen. Während Designer, die sich im Planungsprozess ausschließlich mit Satelliten-, Luft- und Geodaten befassen, die von externen Agenturen und Unternehmen bereitgestellt werden, ermöglichen Drohnen eine ungefilterte Beteiligung vor Ort sowie die Erstellung von passgenauen Inhalten. (KULLMANN 2017, S.136)

Die UAV-gestützte Vermessung kann entweder mittels Laserscansystemen auf High-End-UAV oder mit Hilfe von Photogrammetrien (vgl. Kapitel 2.2.3) aus Bilddaten der Low-Cost-UAV erfolgen. Die Anschaffungskosten eines luftgestützten Laserscansystems liegen dabei etwa fünf mal über den Anschaffungskosten eines Low-Cost UAV Systems. Laserscangestützte Punktwolken weisen dagegen eine deutlich höhere Genauigkeit gegenüber einfachen Photogrammetrien auf (GÜNTNER U. BORRMANN 2011, S.56).

Neben der Planung und der Vermessung, entwickelt sich aktuell auch der Einsatz von Drohnen in der **Baubranche**. In der Logistik werden UAV's bereits zur Lieferung von Paketen eingesetzt (TECHOPEDIA GROUP o.J.). Dieser Ansatz kann in der Baubranche langfristig auf den Transport von Materialien in der Bauphase übertragen werden. Ein Beispiel liefert bereits Humphreys & Partners Gebäude ‚Pier 2 Apartment of the Future‘ (2018), bei denen Drohnen beim Bau von Mauern für Biokulturen eingesetzt wurden (CURETON 2019, S.3). Auch im „Spaceport-Vorschlag“ für ein Sunderlandprojekt wurden Drohnen von dem Unternehmen AECOM für den Transport von Baumaterialien vorgeschlagen (EBD.).

Ursprünglich in der Land- und Forstwirtschaft eingesetzte Sprüh- und Abwurfssysteme an UAV-Systemen werden aktuell auch für großflächige Landschaftsarchitektur-Projekte wie Parkanlagen etc. verwendet. Hier dienen Drohnen als Flugträger für Düngemittel- oder Saatgutverteilung (KULLMANN 2017, S.134 f), die im Laufe der Fertigstellungs- oder in der Unterhaltungspflege zum Einsatz kommen können. Nach CLEES (2020) werden für den Überflug einer ein Hektar großen Fläche nur etwa vier min benötigt.

Insgesamt weist die UAV-gestützte Datenerfassung bereits zum jetzigen Stand der Technik ein breites Einsatzspektrum im Bereich der Landschaftsarchitektur auf. Dies wird sich in den kommenden Jahren verstärken.

Rechtliche Grundlagen Drohnenbefliegung

An dieser Stelle soll kurz auf die gesetzlichen Regelungen zu Drohnenbefliegungen eingegangen werden, da sich diese ggf. auf die praktische Umsetzbarkeit der beiden Visualisierungsmethoden, die auf der Grundlage von Drohnenbildern basieren, auswirken.

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur hat seit Mitte 2017 die Nutzung von

Drohnen im Rahmen einer Gesetzesverordnung geregelt. Generell müssen gemäß dieser Verordnung alle Drohnen über 0,25 kg mit einer Plakette ausgestattet sein, aus der der Name und die Adresse des Drohnenbesitzers entnommen werden kann. Für Drohnen mit einem Gewicht von mehr als 2,0 kg muss der Besitzer zusätzlich einen Nachweis über besondere Kenntnisse führen, der nach einer Prüfung durch eine vom Luftfahrt-Bundesamt anerkannten Stelle ausgestellt wird. Für Drohnen mit einem Gewicht von mehr als 5,0 kg wird zusätzlich eine Aufstiegserlaubnis benötigt, die von den Landesluftfahrtsbehörden erteilt wird (BMVI 2020, S.1).

Drohnen und Modellflugzeuge dürfen nur in Sichtweite geflogen werden und dürfen außerhalb von Modellflugplätzen eine Höhe von 100 Metern nur mit einer behördlichen Ausnahmeerlaubnis überschreiten (BMVI 2020, S.1). Ein generelles Flugverbot für Drohnen, die optische, akustische oder Funk-Signale empfangen können, gilt für folgende Bereiche (BMVI 2020, S.2):

- Bundes- oder Landesbehörden
- Industrieanlagen
- Menschenansammlungen/ Wohngrundstücke
- Kontrollzentren von Flughäfen
- Naturschutzgebiete
- Einsatzorte der Polizei und Rettungskräften

2.2.2 UAV-gestützte Bilddatenerfassung

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts das erste Flugzeug den Himmel beflog und Mitte der 1950er Jahre der erste Satellit den Weltraum erreichte, erfasst der Mensch den Globus aus der Luft. In vielerlei Hinsicht war der Satellit dadurch maßgeblich an der Landschaftsarchitektur und damit an der Entwicklung der Landschaft beteiligt (KULLMANN 2017, S.134). Die Datenerfassung mittels UAV-Systemen stellt eine weiterentwickelte Form dieser luftgestützten Bildaufnahmen dar. Wie der Abbildung 4 entnommen werden kann, ist die Auflösung von Drohnenbildern bis zu 600-mal schärfer als typische Online-Satellitenbilder und, sofern verfügbar, etwa 15-mal schärfer als Luftbilder, die von flugzeugbasierten Luftbildanbietern aufgenommen werden (KULLMANN 2017, S.134 f). Im Vergleich zur Wiedergabetreue von Google Earth- und GIS-Karten sind die Ergebnisse erstaunlich. Zum ersten Mal in der kartografischen Geschichte werden topografische Merkmale auf ein Maß an Klarheit abgebildet, das mit der Welt vergleichbar ist, die wir vor Ort wahrnehmen (EBD.).



Abbildung 4: Vergleich Luftbildaufnahmen Drohne, Flugzeug, Satellit, verändert. nach KULLMANN 2017, S.134.

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, werden auf dem aktuellen Drohnenmarkt zwei Systeme zur UAV-gestützten Bilddatenerfassung angeboten. Low-Cost-UAV, wie beispielsweise die

‚Phantom 4‘ oder ‚Mavic Pro‘ des Herstellers DJI, besitzen eine fest installierte Kamera. High-End-UAV hingegen sind frei kompatible Systeme und können eine Nutzlast von bis zu 7.500 g aufnehmen, was die Ausrüstung einer Drohne mit jeder herkömmlichen Kamera aus dem Consumer-Bereich ermöglicht (PLANK ET AL. 2011, S.54; CLEES 2020). Hier sind beispielsweise die Sony Alpha Serie, die Canon 5D oder die Red epic Kamera zu nennen (CLEES 2020). Auch die Installation einer 360° Halterung für den freien Rundumblick ist möglich (CLEES 2020). Insgesamt kann man grob davon ausgehen, dass die Prozessierungskosten quadratisch steigen, wenn die Auflösung des Sensors linear vergrößert wird (PLANK ET AL. 2011, S.57).

Durch die stetige Verbesserung der Kameraauflösungen, erhöht sich gleichzeitig die Digitalisierungs-Präzision der Erdoberfläche aus der Luft (PIX4D 2019, S.1).

Die Genauigkeit dieser digitalisierten Luftbilder wird zwischen einer relativen und einer absoluten Genauigkeit unterschieden. Die relative Genauigkeit bezieht sich auf die richtige Rekonstruktion von Merkmalen innerhalb eines Objektes. Die absolute Genauigkeit hingegen beschreibt die Positionsgenauigkeit des Objektes im Koordinatensystem. Wenn die Luftbilddaten mit GIS-Daten kombiniert werden sollen, hat eine absolute Genauigkeit daher oberste Priorität (PIX4D 2019, S.2).

Eine absolute Genauigkeit erzielt man durch einen Bodenabtastabstand (GSD) von 1 - 2 (PIX4D 2019, S.2). Als Bodenabtastabstand (GSD) wird der Abstand zwischen der Mitte zweier aufeinanderfolgender Pixel bezeichnet, die am Boden gemessen werden. Eine GSD von fünf Zentimetern bedeutet, dass ein Pixel im Bild fünf lineare Zentimeter auf dem Boden darstellt. Demnach bedeckt ein Pixel 25 Quadratzentimeter (PIX4D 2019, S.2).

Die GSD ist von verschiedenen Einflussfaktoren wie der Flughöhe sowie den Eigenschaften der eingesetzten Flugkamera abhängig (CURETON 2019, S.2). Die Abbildung 5 zeigt die Wirkungsweise dieser Faktoren.

Folgende Formel kann zur Bestimmung der GSD genutzt werden (PIX4D 2019, S.3):

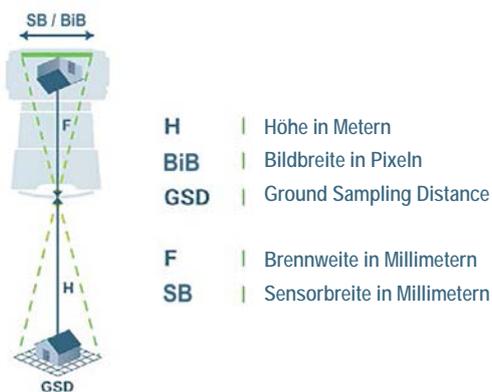


Abbildung 5: Auswirkung Flughöhe, Brennweite und Bildbreite auf GSD, veränd. nach PIX4D 2019

$$GSD = (SB * H [m] * 100) / (F * BiB)$$

In der Regel möchte man jedoch die benötigte Flughöhe ermitteln, die man benötigt, um eine festgelegte GSD zu erhalten. Hierzu kann die oben genannte Formel wie folgt umgestellt werden:

$$H [m] = (BiB * GSD * F) / (SB * 100)$$

Insgesamt kann festgehalten werden, dass je niedriger der Flugabstand zum Boden ist, desto niedriger wird die erzielte GSD. Je niedriger die GSD ist, desto höher der Detailierungsgrad. Und je besser die Kamera, desto höher kann geflogen werden um dieselbe GSD zu erzielen.

Sowohl bei dem Einsatz von herkömmlichen Kameras als auch bei Low-Cost-UAV's, bei denen eine Kamera fest installiert ist, kann die Speicherung der Bildaufnahmen in unterschiedlichen Formaten wie TIFF und JPEG erfolgen. Diese Bilddaten können, wie im folgenden Kapitel 2.2.3 tiefer gehend beschrieben wird, an eine Photogrammetrie-Software zur Generierung eines 3D-Modelles übergeben werden. In aktuellen Studien wurde belegt, dass der Einfluss des Bilddatenformates (TIFF vs. JPEG) vernachlässigbar gering ist: „Die durch eventuelle Kompressionsverluste zu erwartenden

Änderungen der JPEG-basierten Punktwolken gegenüber denen aus TIFF-Daten sind nicht signifikant“, PRZYBILLA ET AL. 2019, S.247.

2.2.3 Photogrammetrie

Als Photogrammetrien werden Verfahren zur Gewinnung von dreidimensionaler Information aus Bilddaten bezeichnet (MAAS 1997, S.7). Verschiedene Softwareprodukte führen hierzu eine photogrammetrische Verarbeitung digitaler Bilder zur Generierung von 3D-Geodaten durch, die in GIS-Anwendungen, in der Dokumentation des kulturellen Erbes und in der Produktion visueller Effekte sowie für indirekte Messungen von Objekten verschiedener Maßstäbe verwendet werden (AGISOFT LLC 2019). Photogrammetrien können nicht nur auf Basis von Drohnenbildern erstellt werden, sondern auch auf Grundlage von terrestrischen Bildaufnahmen oder mit Hilfe von speziell angefertigten, automatisierten Bildaufnahmeboxen für kleinere Einzelobjekte (HEIPKE 2017, S.3; SOFTWARE3D 2018).

Bereits seit den 1940er Jahren wird luftgestützte Photogrammetrie intensiv betrieben und ist gegenüber allen terrestrischen Verfahren hinsichtlich der Geschwindigkeit der Datenakquise deutlich überlegen (GÜNTNER U. BORRMANN 2011, S.50). In den 80er Jahren gewann der Entwicklungsprozess von Photogrammetrien, stimuliert durch Fortschritte in der Sensor- und Computertechnik, deutlich an Dynamik. 1997 formuliert Maas erstmalig, dass für Photogrammetrien, Mehrbildkorrespondenzen die Voraussetzung zur Bestimmung von 3D-Koordinaten sind (MAAS 1997, S.7). Seitdem ergaben sich für die digitale Photogrammetrie vor allem durch vollautomatische Auswertungsverfahren neue Impulse (MAAS 2005, S.1; HEIPKE 2017, S.14). Unter vollautomatischen Auswertungsverfahren versteht man die dreidimensionale Rekonstruktion und Interpretation von aufgenommenen Szenen mit Hilfe von Computern, bei denen Bildkoordinaten homologer Punkte automatisch bestimmt werden. Dadurch wurde die Auswertung signifikant beschleunigt (HEIPKE 2017, S.14). Einfach formuliert werden bei einer photogrammetrischen Bildauswertung in jedem Bild Punkte gesucht, die mit Punkten in den anderen Bildern übereinstimmen. An diesen Passpunkten erstellt das Programm daraufhin einen dreidimensionalen Punkt im Raum, an dem später die 3D-Oberfläche ausgerichtet wird (SOFTWARE3D 2018).

Damit dies gelingt, sind bereits bei der Aufnahme der Bildsequenzen verschiedene Aspekte zu beachten. Eine Überlappung der Bilder von mindestens 80 % muss gewährleistet werden (FREY in STEMMLER U. REITER 2019, S.216). Außerdem werden für detaillierte Geometrien und Texturierungen von senkrechten Landschaftselementen wie Gebäudefassaden und Baumansichten, Schrägluftbilder benötigt (OLBERDING U. SCHMIK 2017, S.16). Die daraus resultierende Qualität bildbasierter, dichter Punktwolken wird durch eine Vielzahl weiterer Parameter beeinflusst. Neben der Qualität der erfassten Bilddaten und dem eingesetzten Sensor, kommt der verwendeten Software sowie den hier verwendeten Konfigurations-Parametern für das Dense Image Matching und den Filteralgorithmen, eine wesentliche Bedeutung zu (PRZYBILLA ET AL. 2019, S.247).

Auf dem Markt befindet sich eine Vielzahl an Photogrammetrie-Softwareprogrammen, wie Agisoft Metashape®, Pix4Dmapper®, Agisoft Photoscan®, Capture Reality® oder Autodesk Recap®. In verschiedenen wissenschaftlichen Veröffentlichungen werden die unterschiedlichen Programme und deren Filterparameter analysiert und miteinander verglichen. Die Ergebnisse belegen, dass das eingesetzte Software-Programm mit den entsprechenden Standardparametern einen deutlich erkennbaren Einfluss auf die dichte Punktwolke hat (PRZYBILLA ET AL. 2019, S.247; OLBERDING U. SCHMIK 2017, S.16). Unter anderem weisen die mit dem Programm Pix4Dmapper erzeugten Photo-

grammetrien einen Höhenversatz von ca. 10 mm zur geodätischen Referenz auf, und im Programm Agisoft PhotoScan haben Parameter zur Datenfilterung die Auswirkung, dass Objektdetails durch Filterung oft eliminiert werden (PRZYBILLA ET AL. 2019). Zukünftig besteht in der Wissenschaft die Aufgabe darin, die Wirkungsweise der verschiedenen Filterparameter noch intensiver zu evaluieren, um langfristig eine optimale Strategie für die Bearbeitung der Punktwolken zu finden (PRZYBILLA ET AL. 2019, S.247).

Nach der Generierung der dichten Punktwolke muss diese, zur Darstellung im Visualisierungsprogramm, mittels einer Dreiecksvermaschung in ein Oberflächengitter umgewandelt und texturiert werden. Die übliche Vorgehensweise ist die fotorealistische Texturierung des Gittermodells auf Basis der luftgestützten Bildaufnahmen (LEITNER ET AL. 2011, S.62). Damit eine fotorealistische Darstellung der gescannten Objekte innerhalb eines Visualisierungsprogrammes gewährleistet werden kann, wird die Textur und die dazugehörige Farbinformation der einzelnen Objekte mit Hilfe der gewonnenen Bildaufnahmen in der Photogrammetrie-Software automatisch erstellt (NOTH 2012, S.64). Dies wird durch die Überschneidung der Fotos und der vermaschten Oberfläche ermöglicht (EBD.). Ein häufiges Problem beim Verwenden von Luftbildern in der Visualisierung sind jedoch die inkonsistenten Pixeldimensionen und der zur Verfügung stehende Speicher (LEITNER ET AL. 2011, S.62). Daher besteht alternativ die Möglichkeit, die Oberflächengitter in den jeweiligen Visualisierungsprogrammen einzulesen und nach Wunsch des Anwenders manuell zu texturieren (KERSTEN ET AL. 2015, S.83 f). Außerdem können ohne den Arbeitsschritt der Dreiecksvermaschung auch reine Punktwolken visualisiert werden, indem die texturierten Punktwolken direkt dargestellt werden (LEITNER ET AL. 2011, S.63 f).

Das gewonnene, texturierte 3D-Modell kann nun zur weiteren Bearbeitung im freien dreidimensionalen Raum des Visualisierungsprogrammes verwendet werden. Alternativ kann es auch für GIS-Anwendungen in ein gültiges Koordinatensystem eingepflegt werden. Dies kann entweder durch eine Kamerakalibrierung mit manuell eingemessenen Passpunkten erfolgen oder durch eine automatische Flugaufnahme mit RTK-GNSS System (GRAHLMANN ET AL. 2020, S.3). Der Vorteil von automatisierten GPS-Flügen ist, dass der Arbeitsschritt der klassisch eingemessenen Passpunkte entfallen kann, wodurch vor allem Arbeitszeit eingespart wird (CLEES 2020). Die Schwierigkeit hingegen bestehen in den teilweise sehr ungenauen Startwerten des GPS-Systems, die UAV-Systeme bei der Aufnahme von Bilddaten aufweisen (TIEPOLT U. KITTEL 2014, S.8).

Insgesamt bedarf die Technologie der Workflows in Verarbeitungsprogrammen für Photogrammetrien, trotz der vielfältigen Vorteile die Photogrammetrien im Bereich der 3D-Datenerfassung liefern, weiterhin des technischen Fortschrittes (CURETON 2019, S.2). Zwar liefern UAV-Befliegungen für kleinere Flächen schnelle und effiziente Vermessungsgrundlagen, bei größeren Flächen stellen Datenmengen durch große Punktwolken und Orthophotos jedoch Probleme für die Weiterverarbeitung in Visualisierungs- und Zeichenprogrammen dar (GRAHLMANN ET AL. 2020, S.22). Außerdem hilft normalerweise ein konsistentes Licht dem Photogrammetrie-Programm dabei, gleiche Punkte im Raum wiederzuerkennen. Dies kann bei Bildaufnahmen im freien Raum ein Problem darstellen (SOFTWARE3D 2018).

3 MATERIAL UND METHODE

In dem folgenden Kapitel drei ‚Material und Methode‘ wird zunächst das Planungsobjekt und -gebiet beschrieben, an dem die drei Visualisierungsmethoden durchgeführt werden sollen. Darauf folgt die Beschreibung der Herangehensweise für die Drohnenbefliegung, bei der die verwendete Drohne, die Vorüberlegungen sowie die Durchführung der Befliegung beschrieben werden. Im Anschluss wird die durchgeführte händische Umgebungsmodellierung, sowie die angewendete Weiterverarbeitung der Drohnenbilddaten bis zur endgültigen Visualisierung der beiden Methoden ‚2D-Drohnenbild als Hintergrund‘ und ‚3D Photogrammetrie-Umgebung‘ erläutert. Am Ende dieses Kapitels drei folgt die Formulierung von Bewertungskriterien, die anhand der vorangegangenen Recherche zu 3D-Visualisierungen sowie der gemachten Erfahrung bei der Umsetzung der drei Methoden, aufgestellt werden.

3.1 Planungsobjekt und Gebiet

Wie aus den erarbeiteten Grundlagen in Kapitel 2.1. 3D-Visualisierungen hervorgeht, sind Perspektiven aus der Vogelschau insbesondere für großflächige Landschaftsarchitekturprojekte geeignet, bei denen die Darstellung der Flächengliederung sowie die Einordnung in den umliegenden Bestand von besonderer Wichtigkeit ist.

Unter diesen Voraussetzungen wurde nach einem Projekt im Bereich der Sportplatzplanung gesucht, bei dem sich in unmittelbarer Umgebung außerdem markante Landschaftselemente nach WISSEN (2007) befinden, die sich später positiv auf die Wiedererkennung auswirken (vgl. Kap. 2.1.2).

Die Sportanlagenplanung im Sportpark Wedau in Duisburg ist für das Vorhaben geeignet und wird für die Untersuchung der drei unterschiedlichen Methoden der Umgebungsdarstellung zu Grunde gelegt. Im Folgenden werden zur Orientierung und Information zunächst das Planungsgebiet in der Stadt Duisburg und im näheren Umfeld verortet, um im Anschluss das Planungsvorhaben zu erläutern.

Der Sportpark Wedau befindet sich im Süden des Stadtteiles Neudorf in Duisburg-Mitte. Mit rund 500.000 Einwohnern ist die Universitätsstadt Duisburg nicht nur die westlichste Großstadt des Ruhr-

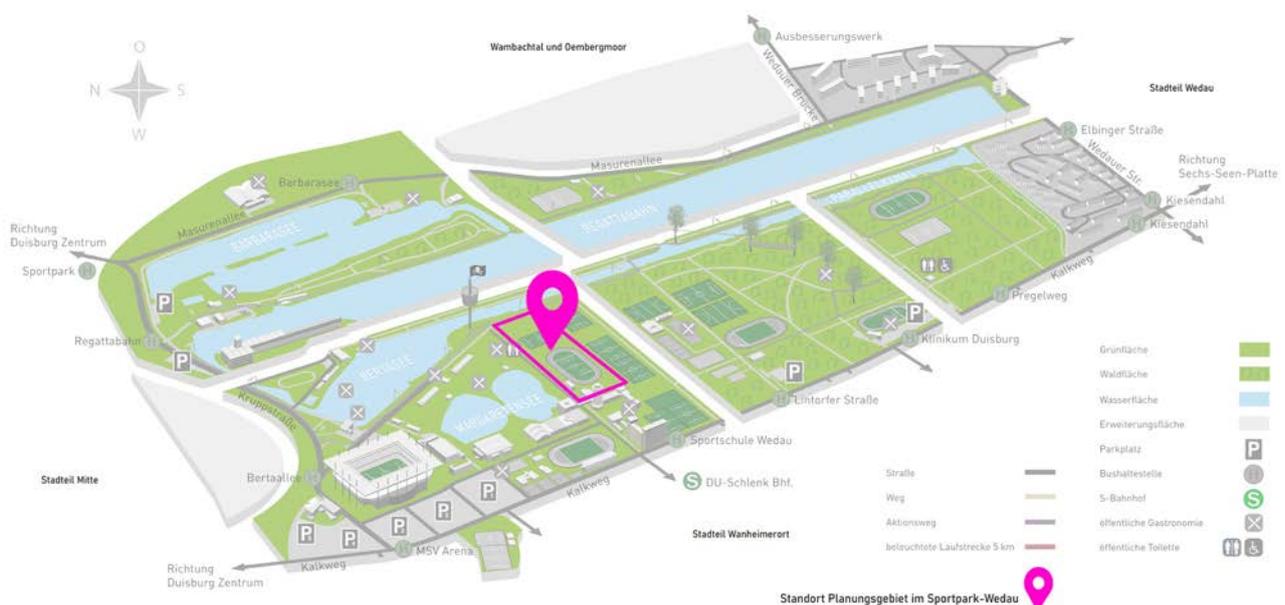


Abbildung 6: Verortung Planungsgebiet im Sportpark Duisburg Wedau (veränd. nach SüHS 2015, S.3)

gebietes sondern auch die 15. größte Stadt Deutschlands (STADT DUISBURG 2020). Im Westen grenzt der Sportpark an den Stadtteil Wanheimerort, im Süden an den Stadtteil Wedau mit der Sechs-Seen-Platte sowie im Osten an das Wambachtal mit Oembergmoor (GOOGLE MAPS 2020).

Mit rund 200 Hektar Gesamtfläche bietet der Sportpark Wedau ein breites Spektrum an verschiedenen Breiten- und Freizeitsportaktivitäten und wird als Sport- und Erholungsgebiet mit überregionaler Bedeutung genutzt. Den größten Veranstaltungsort im Sportpark Duisburg stellt die Schauinsland-Reisen-Arena im Norden der Anlage dar, die rund 30.000 Zuschauern Platz bietet (SÜHS 2015, S.14). Der Standort zeichnet sich außerdem durch das nahegelegene Autobahnnetz der A59 im Westen sowie der A3 im Osten aus und verfügt über einen direkten Anschluss zum ÖPNV (SÜHS 2015, S.3).

Aus der Abbildung 6 lässt sich die Verortung der geplanten Sportanlagen im Gesamt-Sportpark nachvollziehen. Das nähere Umfeld ist geprägt von verschiedenen Wasserflächen, wie der Regattastrecke im Osten und den beiden Margareten-Seen im Norden. Erschlossen werden die geplanten Sportflächen über die parallel verlaufende Friedrich-Alfred-Straße im Norden, die diese gleichzeitig von den Wasserskiflächen auf den Margarten-Seen abgrenzt. Parkmöglichkeiten befinden sich zwischen den bestehenden Eichen entlang der Friedrich-Alfred-Straße sowie am Eingang der Sportschule Wedau.

Die zu überplanenden Sportflächen werden von der Sportschule Wedau genutzt, die sich im Nord-Westen in unmittelbarer Nähe befindet. Das Gebäude der Sportschule besteht unter anderem aus einem charakteristischen, hexagonförmigen Wohnkomplex mit etwa sechzehn Stockwerken, sowie mehreren vier bis fünf stöckigen Mehrzweckgebäuden mit Klinkerfassade. Die gesamten Sportflächen der Sportschule Wedau gliedern sich in drei Bereiche. Im Westen befinden sich zwei Naturrasen-Großspielfelder, zwei Soccer-Spielfelder und eine Beachvolleyballanlage. Entlang der südlichen Grundstücksgrenze der Sportschule befinden sich zweiein-

Projektsteckbrief

Projekttitel

Neugestaltung Spielfelder Sportschule Wedau

Projektadresse

Freidrich-Alfred-Straße 15, 47055 Duisburg

Planung

Geo3 GmbH

Uedemerstraße 196, 47551 Bedburg-Hau

Bauherr

Sportschule Wedau,

Fußballverband Niederrhein e.V.

Friedrich-Alfred-Straße 15, 47055 Duisburg

Planungsfläche

ca. 38.600 m²

geplante Durchführung

Herbst/Winter 2020

Bestandsflächen

1x Korbbojenbahn Naturrasen, Tenne

1x Naturrasen-Großspielfeld, 105 x 68 m

1x Vereinsheim Bestand, ca. 30 x 15 m

Gehölzbestand zwischen Spielfeldern

geplante Flächen

1x Naturrasen-Großspielfeld, 105 x 68 m

1x Naturrasen-Großspielfeld, 100 x 64 m

1x Kunststoffrasen-Großspielfeld, 100 x 64 m

1x Vereinsheim mit Lagerräumen, 61 x 15 m

2x Tribünenanlage davon 1x überdacht

markante Landschaftselemente in der Umgebung

- Hexagon-Gebäude Sportschule Wedau

- südliche Großspielfelder-Reihe

- Wasserskiflächen Margaretensee

- umliegender Gehölzbestand



Abbildung 7: Lageplan ‚Sanierung Sportschule Wedau‘, unmaßstäblich (veränd. nach Geo3 GmbH 2020)

halb weitere Naturrasen-Großspielfelder sowie ein Kunststoffrasen-Großspielfeld. Im nördlichen Bereich befindet sich eine Korbboogenbahn sowie ein Naturrasen-Großspielfeld. Die drei Bereiche werden durch breite Erschließungsstraßen gegliedert, die mit einem alten Baumbestand gesäumt sind.

Der zu überplanende Bereich der Sportschule Wedau bezieht sich konkret auf den nördlichen Bereich mit Korbboogenbahn und einem Großspielfeld im Bestand. Die vorhandene Korbboogenbahn besteht aus einer Tennensrundlaufbahn und einem Naturrasengroßspielfeld, welche sich auf Grund von Unternutzung in einem stark sanierungsbedürftigen Zustand befindet. An der nord-östlichen Stirnseite der Korbboogenbahn befindet sich das Naturrasen-Großspielfeld mit den Spielfeldmaßen 105 x 68 m. Die beiden Sportflächen sind durch einen Gehölzstreifen voneinander getrennt. Östlich des Großspielfeldes befindet sich hinter einem weiteren Gehölzstreifen ein Betriebshof mit einem Lagergebäude.

Die Umplanung dieses Bereiches durch das Büro Geo3 kann dem Lageplan der Abbildung 7 entnommen werden und sieht folgende Maßnahmen vor: Im Bereich der ehemaligen Korbboogenbahn soll ein Naturrasen-Großspielfeld in West-Ost-Ausrichtung mit den Spielfeldmaßen 105 x 68 m errichtet werden, das mit zwei Zuschauertribünen an den Längsseiten sowie vier und sechs Meter hohen Ballfangzaunanlagen an den Stirnseiten ausgestattet wird. Die nördliche Zuschauertribüne soll eine Überdachung erhalten. Der Gehölzstreifen zwischen der ehemaligen Korbboogenbahn und dem Großspielfeld soll gerodet werden. Durch den gewonnenen Platz und das Verschieben der einzelnen Plätze Richtung Westen, wird ein zusätzliches Großspielfeld ermöglicht. Anstelle des einen Naturrasen-Großspielfeldes befinden sich an dieser Stelle dann zwei Großspielfelder in Nord-Süd-Ausrichtung mit den Spielfeldmaßen 100 x 64 m. Einer der beiden Plätze soll weiterhin einen Naturrasen erhalten, der andere wird in Kunststoffrasen ausgeführt.

Alle drei Spielfelder erhalten zwei Spielerkabinen und genügend Aufstellflächen für zusätzliche Trainings- und Jugendtore. Als Sportplatzbeleuchtung wird für den großen Naturrasenplatz mit Zuschauertribüne eine vier-Mast Flutlichtanlage mit einer Lichtpunkthöhe von 20 m vorgesehen, die beiden kleineren Großspielfelder erhalten eine 12 m hohe Flutlichtanlage mit jeweils sechs Masten, wobei die mittleren Masten für beide Spielfelder geteilt werden. Im Osten wird im Bereich des bestehenden Betriebshofes ein neues Vereinsheim mit Lagerhallen, Mehrzweckräumen und Umkleidekabinen geplant. Das Gebäude wird durch einen Vorplatz mit Pflanzbeeten und Sitzgelegenheiten direkt mit den Sportflächen verbunden. Der bestehende Gehölzstreifen muss daher auch an dieser Stelle gerodet werden. Neben den beschriebenen Umbaumaßnahmen wird zusätzlich die Überarbeitung des bestehenden Kunststoffrasenplatzes im südlichen Sportschulbereich geplant. Hier soll eine Dekompaktierung des Sandes erfolgen und neues Granulat aufgebracht werden. Da diese Maßnahme jedoch keine wirklich sichtbare bauliche Veränderung mit sich bringt, bleibt dieser Teil der Planung für die Umsetzung der 3D-Visualisierung unbeachtet.

Der Entwurf für die beschriebenen Umbaumaßnahmen im Sportpark Duisburg Wedau wurde bereits bei dem Bauherrn vorgestellt und abgestimmt. Die 3D-Visualisierungen, die dieser Arbeit zugrunde gelegt werden, dienen daher nicht mehr der Variantenfindung, sondern als Informationsbasis in der Öffentlichkeitsarbeit und für die Vorstellung in Ämtern und Räten innerhalb der Ausführungsplanung. Wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben, hat dies Auswirkungen auf den Realitätsgrad, der für die Visualisierungen erzielt werden soll. In dieser Arbeit werden hierzu drei unterschiedliche Methoden der Umgebungsdarstellung verwendet. Die modellierte Planung wird allen drei Methoden zur objektiven Vergleichbarkeit unverändert zu Grunde gelegt.

3.2 Drohnenbefliegung

Im folgenden Abschnitt wird die Vorgehensweise der Drohnenbefliegung als Grundlage für die Datenerhebung der 2D-Hintergrundbilder sowie der 3D-Photogrammetrie erläutert. Hierzu wird unter 3.2.1 zunächst die eingesetzte Drohne und deren technischen Daten beschrieben. Daraufhin werden unter 3.2.2 Vorüberlegungen zur geplanten Befliegung des Projektstandortes Sportpark-Wedau in Duisburg formuliert. Unter 3.3.3 wird die Durchführung der endgültigen Befliegung beschrieben.

3.2.1 Eingesetzte Drohne

Für die Bildflüge über dem Sportpark Wedau in Duisburg wurde das Low-Cost-UAV Modell DJI Phantom 4 mit einer festinstallierten Kamera eingesetzt, das seit März 2016 auf dem Markt verfügbar ist und eine Weiterentwicklung der Vorgängermodelle DJI Phantom 3 und Phantom 3 Advanced darstellt. Die wichtigen technischen Daten der DJI Phantom 4 und der dazugehörigen Kamera sind in Tab. 1 und 2 zusammengefasst.

Tabelle 1: Technische Daten der DJI Phantom 4 (DJI 2020, veränd. nach KERSTEN ET AL. 2019)

	Gewicht (mit Akku & Propellern)	1380 g
	Diagonale Größe (ohne Propeller)	350 mm
	Max. Geschwindigkeit (Steig/Sink)	6 m/s, 4 m/s
	Max. Geschwindigkeit (kein Wind)	20 m/s
	Max. Höhe über NN	120 m
	Betriebstemperatur	0° bis 40°C
	Positionsbestimmung	GPS/GLONASS
	Max. Flugzeit	ca. 28 min

Durch die einfache Handhabung, ihren aerodynamischen und stabilen Flug über vier Propeller und drei-fach Gimbal-Stabilisierung der Kamera sowie die verbesserte Hinderniserkennung, eignet sich die RTF (Ready to fly)-Drohne sowohl für die kommerzielle als auch für die private Nutzung (BvCP 2016). Mit einem aktuellen Marktpreis von etwa 1.500 € ist sie im Vergleich zu anderer Büro-Hardware für einen Landschaftsarchitekten erschwinglich (DJI 2020).

Tabelle 2: Technische Daten der Kamera (DJI 2020, BvCP 2016, veränd. nach KERSTEN ET AL. 2019)

	Sensor	1/2.3" CMOS, eff. Pixel: 12,4 M
	Objektiv/ Brennweite	FOV 94°, 20 mm, f/2.8 auf ∞
	ISO-Empfindlichkeit	100-1600
	Elektr. Verschluss	8-1/8000 s
	max. Bildgröße	4000x3000
	Betriebstemperatur	0° bis 40°C
	Bildformat	JPG, DNG (RAW)
	Nickwinkel Gimbal	-90° bis +30°
	Stabilisierung Gimbal	3-Achsen (Nicken, Rollen, Gieren)

Für die Bildspeicherung wird das Format JPG gewählt. Zum einen haben verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen ergeben, dass der Einfluss der Bilddatenformate (TIFF/RAW vs. JPG) auf die spätere Datenqualität und Punktgenauigkeit bei Photogrammetrien vernachlässigbar gering ist (PRZYBILLA ET AL. 2019, S.246). Zum anderen wäre die Speicherung der Fotos im Format DNG

(RAW) während des Flugbetriebes nur mit Einschränkung möglich, da eine Speicherung ca. 7 s je Foto benötigt und damit die Fluggeschwindigkeit enorm reduzieren würde. Die Drohne wird von dem Büro Geo3 zur Verfügung gestellt.

3.2.2 Vorüberlegungen zur Drohnenbefliegung

Damit eine einwandfreie Befliegung zur Generierung von Bilddaten gewährleistet werden kann, sind bereits im Vorhinein einige Überlegungen zu treffen.

Grundsätzlich sollten an dem Tag der Befliegung optimale Wetterverhältnisse herrschen. Das heißt, auf der einen Seite sollte eine klare Sicht bestehen, ohne Nebel oder einen stark wolkenbehangenen Himmel, damit klare und scharfe Bilder aufgenommen werden können. Auch aus technischen Gründen sollte ein regen- und windfreier Tag herrschen, damit die eingesetzte Drohne keine Schäden davon trägt. Auf der anderen Seite sollte die Sonneneinstrahlung jedoch nicht so intensiv sein, dass die Bildaufnahmen durch zu starke Schlagschatten negativ beeinträchtigt werden. Für einen geeigneten Flugzeitpunkt sollte daher ein regen- und windfreier, leicht bedeckter Tag gewählt werden.

Auch der Vegetationsfortschritt der Bäume im Jahr spielt für die Auswahl des Flugzeitpunktes eine Rolle. Wie in Kapitel 2.1.3 erläutert, werden mit einem kräftigen Grünton natürliche Symbole transportiert, die sich positiv auf die Betrachtung einer Visualisierung auswirken (ALEXANDER 2013, S.21). Daher wird ein Termin angepeilt, an dem die Vegetationsperiode der Bäume so weit fortgeschritten ist, dass mindestens 80 % der Bäume begrünt sind.

Die in Kapitel 2.2.1 erläuterten gesetzlichen Regelungen zur Steuerung von Drohnen in Deutschland sind bei der Befliegung einzuhalten. Zusätzlich wird das Gebiet vor der Befliegung auf mögliche Flugsperzonen geprüft. Über den Anbieter map2fly.de können solche Flugsperzonen kostenlos eingesehen werden. Für den Sportpark Wedau liegt eine Flugverbotszone für den Stadionbereich vor, die sich bis über die beiden Wasserskiflächen der Margartenseen erstreckt. Das bedeutet, dass eine Befliegung nördlich der Friedrich-Albers-Allee nicht durchgeführt werden kann.

Bei der Befliegung soll zunächst das Bildmaterial für das 2D-Hintergrundbild aufgenommen werden, da dies deutlich weniger Zeit in Anspruch nimmt als die Aufnahme der Bilddaten für die Photogrammetrie. Außerdem kann auf diese Weise zunächst ein besserer Überblick über das Gelände verschafft werden. Für die Bildaufnahmen des 2D-Hintergrundbildes werden folgende Überlegungen festgelegt: Um ein möglichst breites Spektrum an möglichen Hintergrundbildern zu generieren, sollen aus jeder Planungsgebieten-Ecke sowie von beiden Längs- und Stirnseiten jeweils zwei Bilder in unterschiedlichen Höhen aufgenommen werden. Die Kamera der Drohne ist dabei so zu kippen, dass der Mittelpunkt des Sportplatzes in der Bildmitte liegt.

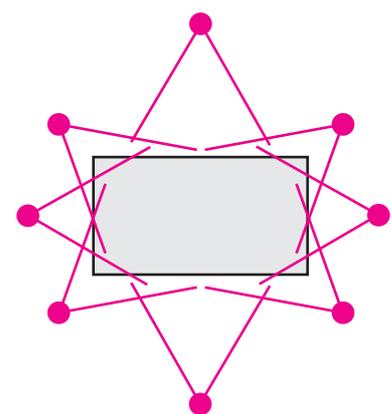


Abbildung 8: geplante Kameraaufnahmepunkte Draufsicht

Im Anschluss werden die Bilddaten für die Photogrammetrie aufgenommen. Wie in Kapitel 2.2.2 und 2.2.3 erläutert, ist die Genauigkeit der Aufnahmen und damit die Qualität der Photogrammetrie maßgeblich von der Flughöhe abhängig (GRAHLMANN ET AL. 2020; PIX4D 2019). Die Flughöhe der Senkrechtaufnahmen sollte daher vor der Befliegung genau überlegt werden. Zu beachten ist jedoch, dass je kleiner die GSD sein soll, desto mehr Bilder benötigt werden, da die aufgenommene

Fläche bei niedrigerer Flughöhe kleiner ist als bei einer höheren. Dies kann sich ggf. negativ auf die Weiterverarbeitung der Bilddaten im Photogrammetrieprogramm auswirken. Zwischen einer ausreichenden GSD und der benötigten Anzahl an Bildern ist daher abzuwägen. Hierzu wurden im Vorfeld der Befliegung folgende Alternativen anhand der in Kapitel 2.2.2 dargestellten Formel nach Pix4D (2019) berechnet:

Tabelle 3: Vergleich Flughöhe zu GSD und etwa benötigten Senkrecht-Bildern (nach Pix4D 2019 berechnet)

Flughöhe	GSD	ca. benötigte Orthogonal-Bilder
20 m	0,71	(29x21 m) ca. 2.040 Stck.
30 m	1,07	(43x32 m) ca. 912 Stck.
40 m	1,43	(57x43 m) ca. 532 Stck.
50 m	1,78	(71x53 m) ca. 308 Stck.

Die benötigten Orthogonal-Bilder wurden im Bezug zur Gesamtfläche von etwa 132.500 m² (vgl. Abbildung 9) bei einer angesetzten Längs- und Querüberlappung von 80 % und 50 % zeichnerisch ermittelt. Zu diesen Senkrecht-Bildern werden außerdem perspektivische, ebenfalls überlappende Bildaufnahmen benötigt, damit Unterzüge bei Gebäuden oder die Krone von

Bäumen nicht nur als senkrechter Zylinder sondern als dreidimensionales Objekt dargestellt werden. Zu den Orthogonal-Bildern kommt dadurch noch mal eine schwer kalkulierbare Menge an Bildern hinzu. Damit die Bilder später im Programm verarbeitet werden können, sollte eine Bildanzahl von 1.000 bis 1.200 Bildern nicht überschritten werden. Aus diesem Grund wird für die Befliegung eine Höhe von etwa 40 m über der Erdoberfläche angesetzt. Mit der dadurch erzielten GSD von 1,43 nach Tabelle 3 wird eine absolute Genauigkeit gewährleistet (vgl. Pix4D 2020, S.2 in Kapitel 2.2.2).

Der geplante zu überfliegende Bereich für die Photogrammetrie kann der Abbildung 9 entnommen werden. Er wurde so gewählt, dass er alle in Kapitel 3.1 festgelegten markanten Landschaftselemente um das Planungsgebiet beinhaltet, die dem Betrachter bei der Einordnung in die Umgebung helfen. Für die Durchführung der Befliegung wird insgesamt folgendes Equipment benötigt:

Phantom 4 UAV, Apple iPhone mit Steuerungssoftware DJI GO (Freeware zum Download), Steuerungshalterung für Apple iPhone, Anemometer, Klemmbrett, Schreibutensilien, Laptop, Lageplan, alle zur Verfügung stehenden Akkus (in dem Fall vier Akkus des Büros Geo3).

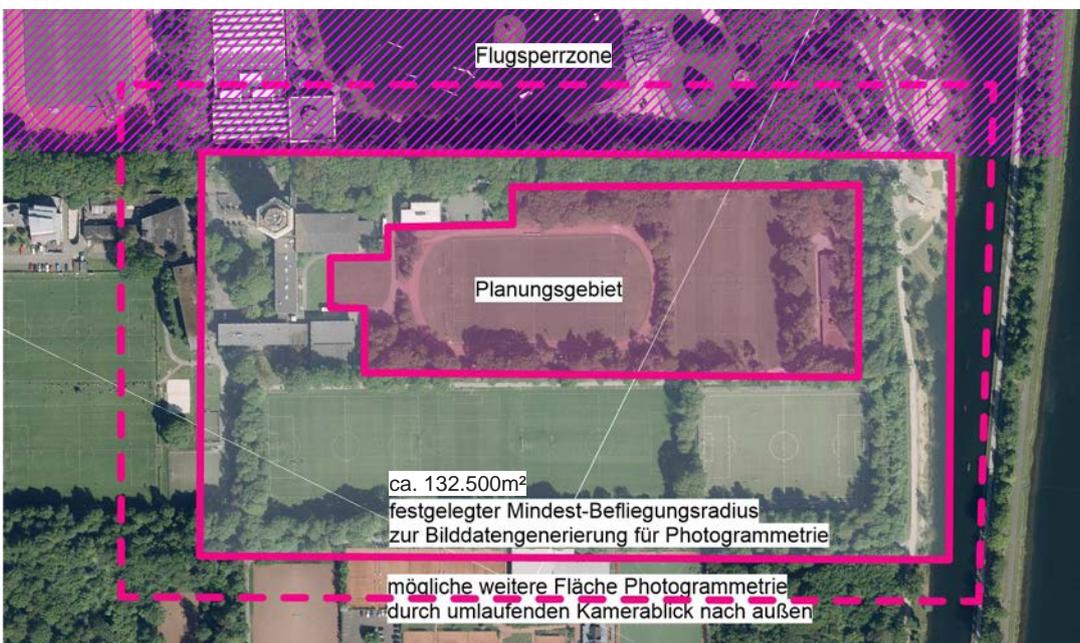


Abbildung 9: geplanter Befliegungsradius um Planungsgebiet, unmaßstäblich

3.2.3 Befliegungs-Durchführung

Die Befliegung des Planungsgebietes im Sportpark Wedau fand am 28.04.2020 zwischen 9:30 Uhr und 12:00 Uhr statt. Die Erlaubnis der Sportschule Wedau zur Befliegung der Anlage wurde in der Woche vor der Befliegung eingeholt, sodass ein Zugang zur Sportanlage bestand. Der Standpunkt während der Befliegung konnte daher so gewählt werden, dass man zwar für die Photogrammetrie etwas versteckt (unter Bäumen) stand, die Drohne trotzdem über den gesamten Zeitraum im Sichtfeld geflogen werden konnte.

Während der Befliegung herrschten gute, jedoch variierende Wetterverhältnisse, die der folgenden Tabelle entnommen werden können:

Tabelle 4: Wetterverhältnisse während Befliegung

Zeit	Windstärke	Temp.	Bewölkung
10:00	1,5 m/s	13°C	bewölkt, keine Sonne
10:43	0,8 m/s	14,5°C	leichter Sonnenschein
11:00	0,0 m/s	19°C	Sonnenschein
11:50	1,2 m/s	20°C	Sonnenschein

Anders als in den Vorüberlegungen zur Drohnenbefliegung formuliert, war ein Gesamteindruck über die zu befliegende Fläche auch vom Boden aus möglich, sodass vor Ort entschieden wurde, zuerst die Aufnahmen für die Photogrammetrie aufzunehmen und zum Schluss die perspektivischen Aufnahmen für das 2D-Hintergrundbild. Insgesamt wurden während der Befliegung 853 Bilder aufgenommen. Hiervon wurden 819 Aufnahmen für die photogrammetrische Weiterverarbeitung und 34 Aufnahmen für den Einsatz als 2D-Hintergrundbild gemacht. Dreieinhalb Akkuladungen mit einer Akkulaufzeit von etwa 25 Minuten wurden hierzu für die Photogrammetrie-Aufnahmen benötigt und eine halbe Akkuladung für die 2D-Hintergrundbilder.



Abbildung 10: Equipment bei der Befliegung

Für die Senkrechtaufnahmen wurde die Anlage im gekennzeichneten Bereich der Abbildung 9 in insgesamt 11 Reihen parallel zur Friedrich-Alfred-Straße befliegen. Da kein Tracking-Programm als Hilfe zur Rasterbefliegung hinzugezogen wurde, sind die Flugbahnen nicht zu 100 % parallel. Eine angestrebte Überlappung der einzelnen Bahnen von etwa 50 % konnte trotzdem größtenteils erzielt werden. Die Außenlinien der Spielfelder dienten als hilfreiche Orientierung aus der Luft. Außerdem wurde ein Laptop als Kontrollhilfe hinzugezogen, mit dem, während eines Akkuwechsels, die bisherigen Aufnahmen geprüft und der letzte Standpunkt für die Fortsetzung der Senkrechtaufnahmen ermittelt werden konnte.

Im Laufe der Befliegung erwies sich ein langsamer Flug von etwa zwei bis vier km/h, bei dem in regelmäßigem Abstand von etwa zwei Sekunden eine Bildaufnahme ausgelöst wurde, als gut umzusetzende Lösung. Teilweise wurde dabei jedoch eine deutlich größere Längsüberlappung von bis zu 95 % erzielt, gegenüber den ursprünglich kalkulierten 80 %. Darüber hinaus erwies sich die im Vorfeld ausgewählte Flughöhe von 40 m auch für die praktische Umsetzung der Befliegung als geeignet, da so die bestehenden Baumalleen überflogen werden konnten, ohne in der Höhe variieren zu müssen.

3.3 Vorgehensweise der 3 Visualisierungsmethoden

Im Folgenden wird die Vorgehensweise der drei unterschiedlichen Umgebungsdarstellungen für das Projekt Sportpark Duisburg Wedau beschrieben. Die verwendeten Hard- und Softwaresysteme wurden von der Verfasserin anhand ihrer Vorerfahrung im Bereich 3D-Visualisierung und im Rahmen des vorhandenen Repertoires ausgewählt. Neben diesen verwendeten Systemen gibt es zahlreiche vergleichbare Programme und Methoden. Da die Arbeit in erster Linie darauf abzielt, verschiedene Visualisierungsmethoden mit und ohne den Einsatz von Drohnenbildern gegenüberzustellen und auf ihre gestalterische Qualität zu prüfen, sollen technische Herangehensweisen zwar beschrieben, jedoch nicht auf ihre Eignung mit anderen Systemen und Herangehensweisen verglichen werden. Für die Durchführung der drei Methoden wird mit folgender Rechnerleistung gearbeitet:

Tabelle 5: verwendete Rechnerleistung

Eigenschaft	Leistung
Prozessor	Intel® Core™ i7-9700K CPU @3.60GHz (8 CPUs), ~3.6GHz
Ram	16384 MB RAM
DirectX-Version	DirectX 12
Grafikkarte Typ	NVIDIA GeForce RTX 2070 SUPER
Gesamtspeicher ca.	16.170 MB
Grafikkarte Anzeigespeicher (VRAM)	8.011 MB

Um einen verbesserten Lesefluss gewährleisten zu können, werden die drei Methoden im Folgenden nicht mit vollem Namen genannt. Die Methode der händischen Umgebungsmodellierung wird als Methode 1 oder 1. Methode bezeichnet. Die Herangehensweise mit dem drohnenbasierten 2D-Hintergrundbild wird als Methode 2 oder 2. Methode bezeichnet sowie die Verwendung einer photographisch erstellten 3D-Umgebung als Methode 3 oder 3. Methode.

Für alle drei Methoden wird zur Endverarbeitung des Renderergebnisses das Programm Cinema4D® der Firma Maxon verwendet. Die benutzerfreundliche 3D-Software wird zum Modellieren, Texturieren, Animieren und Rendern, unter anderem in der Landschaftsarchitektur, als gängiges Visualisierungs-Programm eingesetzt (MAXON COMPUTER 2020). Zu den Stärken des Programmes gehören die realistischen Einstellungsmöglichkeiten von Licht und Schatten sowie das breite Spektrum an Schnittstellen, sowohl für den leichten Zugang an Materialien als auch für den Export an Nachbearbeitungsprogramme wie Photoshop® (SONDERMANN 2009, S.6).

3.3.1 Händische Umgebungsmodellierung (Methode 1)

Bei der folgenden Beschreibung der Herangehensweise an die händische 3D-Modellierung handelt es sich nicht um einen standardisierten Leitfaden für eine solche Modellierung. Im Gegensatz dazu handelt es sich viel mehr um eine mögliche Herangehensweise von vielen, was sowohl die Wahl der Programme als auch die Art der Modellierung und Texturierung angeht. Sie beruht auf der persönlichen Vorerfahrung der Verfasserin im

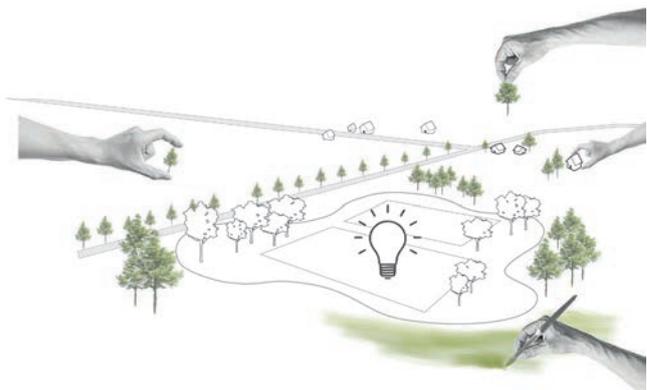


Abbildung 11: Piktogramm Methode 1

Bereich der 3D-Visualisierungen und ist nicht als gesetztes Maß der Dinge anzusehen. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurde nach einem durchschnittlichen Zeitaufwand zur Modellierung von Landschaftsumgebungen gesucht. Da jedes Projekt und dessen Umgebung sehr individuell ist und der eingesetzte Zeitaufwand zur 3D-Modellierung stark von den Fähigkeiten und Ansprüchen des Anwenders abhängt (MERTENS 2010, S.10), konnte kein literarischer Anhaltspunkt für einen ‚normalen‘ Aufwand einer solchen Umgebung gefunden werden. Um eine relative Wirtschaftlichkeit trotzdem im Auge zu behalten, wird ein Zeitaufwand von etwa drei Arbeitstagen à acht Stunden für die händische Umgebungsmodellierung angesetzt.

Mit Hilfe des kostenlosen online Kartenportals Tim-Online werden zunächst Katastergrundlagen sowie ein Luftbild mit Orthofotos erstellt. Diese werden zusammen mit den vom Planungsbüro Geo3 zur Verfügung gestellten Aufmaßdaten des Planungsgebietes in das CAD-Zeichenprogramm Vectorworks® der Firma Computerworks eingepflegt. Auf dieser Grundlage kann nun die positionsgenaue Modellierung der Umgebung beginnen:

Zunächst werden die Flächen der unterschiedlichen Oberflächenbeläge angelegt. Einige Flächen, wie Straßen, Gewässer und wichtige Wegeachsen, können hierbei aus der vorliegenden Katastergrundlage kopiert und in einfache 3D Polygone umgewandelt werden. Alle anderen Flächen mit unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten werden auf Grundlage des Luftbildes händisch abgezeichnet und ebenfalls in 3D Polygone umgewandelt. Für die gesamte zu modellierende Fläche liegen zum Zeitpunkt der Modellierung keine Höhendaten vor. Lediglich für den überplanten Bereich der Sportflächen liegt ein Aufmaß des Büros Geo3 vor. Aus diesem kann über eine Gesamtlänge von etwa 280 m ein Höhenunterschied von etwa ± 20 cm festgemacht werden. Es ist davon auszugehen, dass für den umliegenden zu modellierenden Bereich keine signifikanten Höhenunterschiede vorliegen, die die Perspektive aus der Vogelschau maßgeblich beeinflussen. Aus den vorliegenden Luft- und Drohnenbildern kann lediglich für den Uferbereich der Regattastrecke ein abfallendes Gelände von etwa drei Metern zwischen Uferweg und Wasserfläche festgemacht werden. Dieser Höhenunterschied wird in der 3D-Modellierung berücksichtigt. Alle anderen Flächen werden als ebene 3D Flächen modelliert. Auf die Modellierung von Einfassungen wie Kanten- und Bordsteinen wird, zumindest in der Umgebungsmodellierung, auf Grund des Maßstabes aus der Vogelperspektive verzichtet. Lediglich bei der Modellierung der Planung werden die Einfassungen der Spielfelder etc. berücksichtigt.

Im Kapitel 3.2.2, ‚Vorüberlegungen zur Drohnenbefliegung‘ wurde bereits der Radius der 3D modellierten Umgebung um das Planungsgebiet für die Photogrammetrie festgelegt. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird daher auch für die Methode 1 ungefähr dieser Radius um das Planungsgebiet zur händischen Umgebungsmodellierung gewählt. Objekte, wie die Form der Gewässer, Straßen und Gebäude, die, wie oben beschrieben, aus der Katastergrundlage kopiert werden, werden jedoch nicht extra an dem festgelegten Radius abgeschnitten. Die Konturen dieser Flächen werden demnach, anders als bei der Methode 3, über den abgesteckten Radius hinaus ragen.

Bei der Modellierung der Gebäude wird zunächst die Außenkubatur und die Lage im Raum aus dem Kataster entnommen. Da die händische Modellierung zeitlich vor der Drohnenbefliegung statt findet, liegen keine Bildinformationen vor, aus denen die Fassadengestaltung sowie die Höhe der Gebäude entnommen werden konnte. Dies wird bewusst so gehandhabt, damit der ‚Normalfall‘ einer händischen Modellierung nachempfunden werden kann, bei der auch keine zusätzlichen Drohnenbilder für eine einfachere händische 3D-Nachbildung aufgenommen werden. Damit die Gebäude dennoch einigermaßen realistisch nachmodelliert werden können, wird der kostenlos zugängliche 3D-Dienst von Google Earth genutzt. Zunächst werden die Höhen der Gebäude geschätzt. Die Schätzung der

Gebäudehöhen erfolgt über die Ermittlung der Geschossigkeit in Vergleich zu Referenzhöhen wie Autos, Bäumen und Zäunen sowie in Abwägung der Gebäudehöhen untereinander. Daraufhin werden nach dem Google Earth 3D-Modell die Fassadengestaltungen der Gebäude händisch nachmodelliert. Hierbei werden Vor- und Rücksprünge, Fenster und Fensterrahmen berücksichtigt.

Wenn alle grundlegenden Flächen und Gebäude in Vectorworks® modelliert wurden, wird die Datei an Cinema4D® übergeben. Der Vorteil bei der kombinierten Verwendung von Vectorworks® und Cinema4D® besteht darin, dass eine direkte Exportmöglichkeit zwischen den Programmen besteht. Alle Flächen und Objekte mit der selben Oberflächenbeschaffenheit erhalten in dem Programm Vectorworks® eine gleiche Füllfarbe. Auf diese Weise können nach der Übergabe in das Programm Cinema4D® alle Flächen und Objekte mit gleicher Füllfarbe in einem Schritt ausgewählt und entsprechend texturiert werden. Für die Texturierung der unterschiedlichen Objekte werden neben selbst angefertigten Materialien auch die kostenlos mitgelieferten Materialien im „Content-Browser“ des Programmes Cinema4D® genutzt. Diese Materialien enthalten neben dem Textur-Bild-Pfad bereits detaillierte Zusatzpfade wie Reflektivität, Transparenz, Relief, Alphakanäle etc., die speziell an die Oberflächenbeschaffenheiten des jeweiligen Objektes angepasst sind und die Objekte so noch plastischer und realistischer wirken lassen (SONDERMANN 2009, S.42). Insgesamt wird bei der Wahl der Texturen auf eine möglichst realitätsnahe Darstellung der Landschaftselemente geachtet.

Für die Platzierung der 3D Bäume wird wie folgt vorgegangen: Befinden sich markante Einzelbäume in der Umgebung, werden diese anhand des Google Earth 3D-Modells einzeln auf eine mögliche Gattung, Größe, Kronenhöhe und Breite untersucht. Im Anschluss wird ein passender Baum ausgewählt. Für die Bäume wird der kostenlos zur Verfügung stehende Baumkatalog des Programmes Cinema4D® genutzt. Die Position der Einzelbäume wird aus dem Luftbild in Vectorworks® entnommen und durch einen ein Meter hohen, Stammdurchmesser breiten Zylinder markiert. An diese Stelle wird in Cinema4D® der entsprechend ausgesuchte Baum gesetzt.

Anders wird mir den dichteren Laubgehölzbeständen verfahren. Hier wird nicht jeder Einzelbaum bestimmt und deren Größe sowie genaue Lage festgelegt, sondern eine Auswahl an Bäumen zusammen gestellt, die in unterschiedlichen Größen und Rotationen über die Fläche des Gehölzbestandes frei verteilt werden. Für Laubwälder werden die Gattungen Acer, Tilia und Quercus gewählt. Für die Baumallee entlang der Friedrich-Alfred-Straße, die in der Realität aus Roteichen besteht, werden auch im 3D Programm ausschließlich Bäume der Gattung Quercus verwendet. Um einen möglichst natürlichen Rhythmus nachzuempfinden, werden sie in unterschiedlichen Höhen und Breiten rotiert.

Auf Grund des geringen Zeitaufwandes werden zusätzlich zum festgelegten Radius um die Sportanlage Gebäudekonturen aus dem Kataster kopiert, in zufällig gewählter Höhe zwischen acht und 15 Meter extrudiert und als leicht transparente, weiße Kubaturen in der Umgebung um den eigentlichen Radius dargestellt. Gleichmaßen werden Straßen aus dem Kataster kopiert, als 3D-Polygon umgewandelt und in hell grau dargestellt. Diese sollen die Orientierung in der umliegenden Landschaft etwas unterstützen.

Daraufhin werden verschiedene Lichtquellen in die Cinema4D® Szene eingesetzt. Als Hauptlichtquelle dient die natürliche Sonnenfunktion des Programms, die passend zu den realen Koordinaten und der Jahreszeit des Projektes eingestellt wird.

Zum Schluss werden die Kamerapositionen festgelegt. Diese werden im Kapitel 4 ‚Durchführung und Ergebnisse‘ weiter erläutert. Die Bildgrößen-Einstellungen richten sich, zur Vergleichbarkeit der drei Methoden, nach den im folgenden Kapitel beschriebenen Bedingungen.

3.3.2 2D-Drohnenbild-Hintergrund (Methode 2)

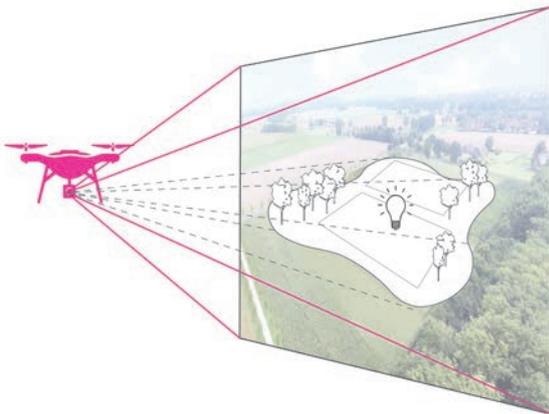


Abbildung 12: Piktogramm Methode 2

Daraufhin wird das Bild auf die Formatabmessungen sowie auf die verwendete Blende und Brennweite untersucht. Wie aus der Abbildung 14 entnommen werden kann, findet man diese Informationen in dem Eigenschaften-Fenster des Bildes im Windows-Explorer.

Nun wird in dem Programm Cinema4D® ein Hintergrundobjekt gemäß der Abbildung 13 der Szene hinzugefügt und ein Material erstellt, auf das das Drohnenbild als Textur gelegt wird. Das erstellte Material wird dem Hintergrund-Objekt zugewiesen, und das Drohnenbild erscheint im Hintergrund der Szene.

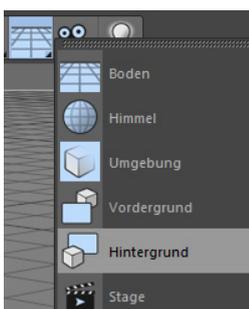


Abbildung 13: Hintergrund-Objekt

Ziel der Methode ist es nun, in der 3D Szene des Programmes Cinema4D® exakt dieselbe Kameraposition einzunehmen, wie die Drohne bei der Entstehung des Hintergrundbildes. Damit sich die 3D modellierte Planung optisch optimal in das Hintergrundbild einfügt, muss jedoch nicht nur die Kameraposition identisch sein, sondern auch die Kameraeinstellungen möglichst mit den Einstellungen der realen Drohnen-Kamera übereinstimmen. Hierzu werden ebenfalls die zu Beginn ermittelten Informationen aus den Bildeigenschaften genutzt. Nach dem Rendern der Szene muss als letzter Schritt noch überprüft werden, ob, durch das optische Auflegen der Planung auf das Drohnenbild, Objekte, wie z.B. Bäume oder Gebäude überdeckt werden, die sich aus dem Standpunkt der Perspektive normalerweise vor der Planung befinden. Diese müssen mit Hilfe von Photoshop® aus dem Originalbild ausgeschnitten werden und positionsgenau auf das Rendering übernommen werden.

Für die Darstellung der Umgebung mit Hilfe eines drohnengenerierten 2D-Bildes werden zunächst zwei geeignete Bilder aus den Daten der Drohnenbefliegung vom 25.04.2020 so ausgewählt, dass sie zur optimalen Vergleichbarkeit mit den Kameraeinstellungen der beiden anderen Methoden übereinstimmen. In diesem Fall werden die Bilder DJI_1348 und DJI_1332 ausgewählt. In den verwendeten Drohnenbildern ist natürlich noch der Bestand des Planungsgebietes enthalten. Damit dieser bei den Renderergebnissen nicht zu sehen ist, wird er zunächst mit Hilfe von Photoshop® retuschiert und optisch durch eine einfache Rasenfläche ersetzt.



Abbildung 14: Bildeigenschaften

3.3.3 Photogrammetrische 3D-Umgebung (Methode 3)

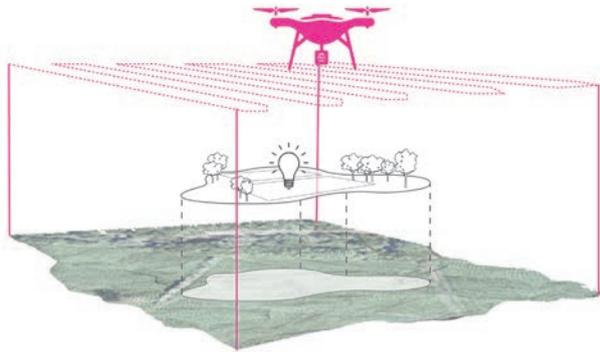


Abbildung 15: Piktogramm Methode 3

Anders als bei der 2. Methode ist bei dieser Methode ein zusätzliches Programm zwischen den Drohnen-Bildern und dem Renderprogramm Cinema4D® notwendig. Um die mit der Drohne generierten Bilder zu einer photogrammetrischen 3D-Umgebung verarbeiten zu können, wird ein Software-Programm benötigt, das die Einzelbilder zu einem Gesamt-3D-Modell zusammenmatched (vgl. Kapitel 2.2.3). Hierzu wird das Programm Metashape® der Firma Agisoft in der aktuellen Version 1.6.2. verwendet.

Der angewandte Workflow im Programm Metashape® kann der Abbildung 16 entnommen werden.

Zunächst werden alle aufgenommenen Drohnenbilder für die Photogrammetrie in das Programm eingeladen. Daraufhin werden die Bilder anhand von übereinstimmenden Passpunkten im Programm ausgerichtet, sodass eine dünne Punktwolke entsteht. Diese muss im Anschluss zu einer dichten Punktwolke weiterberechnet werden. Nach diesem Schritt ist es wichtig, falsch berechnete Punkte durch die Filterung gleicher Farbpunkte zu eliminieren. Anfällig für solche Fehlberechnungen sind insbesondere spiegelnde Flächen wie Gebäudefenster und Wasserflächen. Außerdem ist der Arbeitsbereich auf die tatsächlich aufgenommene Fläche zu reduzieren, um die Berechnung der folgenden Arbeitsschritte durch überflüssige Punkte im Raum nicht unnötig zu verlängern (AGISOFT LLC 2019). Zum Schluss werden auf Grundlage der dichten Punktwolke ein Mesh aus Polygonen erzeugt sowie die entsprechende Textur berechnet.

Für jeden dieser Arbeitsschritte ermöglicht einem das Programm die Auswahl zwischen verschiedenen Einstellungsmöglichkeiten, die sich sowohl auf die Qualität der Photogrammetrie als auch auf die Rechenzeit auswirken (vgl. Kapitel 2.2.3). Folgende Einstellungen haben sich im Laufe der Bearbeitung für dieses Projekt als zielführend ergeben:

Fotos ausrichten - Genauigkeit: *Hoch*

Dichte Punktwolke - Genauigkeit: *Mittel*; Tiefenfilterung: *Moderat*

Mesh erzeugen - Flächenfilterung: *Mittel*

Der benötigte Zeitaufwand für die einzelnen Rechenschritte kann dem Kapitel 4 ‚Durchführung und Ergebnisse‘ entnommen werden.

Das erzeugte 3D-Geländemodell wird nun als .3ds Datei sowie die dazugehörige Textur als .jpg exportiert und in dem Programm Cinema4D® eingeladen. Im Bestand befinden sich, wie im Kapitel 3.1. beschrieben, Gehölzstreifen, die im

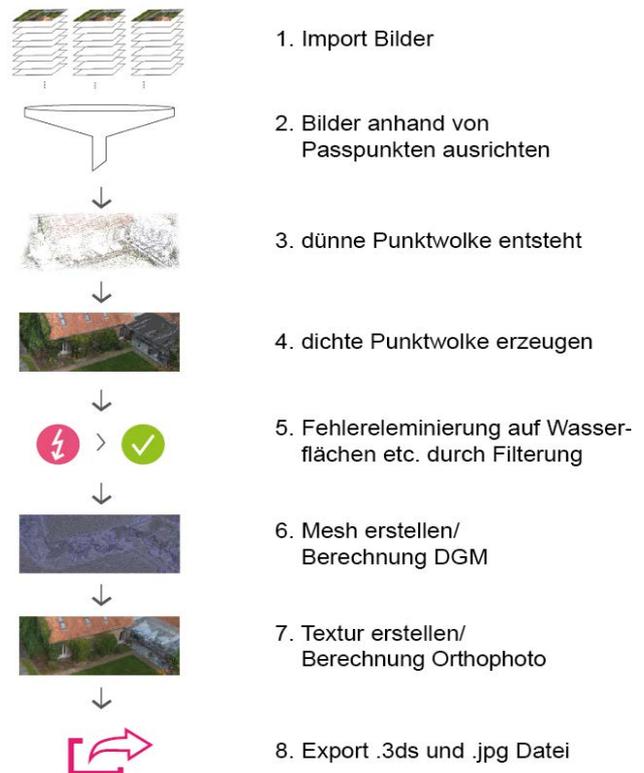


Abbildung 16: Workflow im Programm Metashape® (veränd. nach AGISOFT LLC 2019)

Zuge der Umplanung gerodet werden müssen. Diese müssen zunächst im Programm Cinema4D® mit Hilfe des Polygonfanges aus dem erzeugten Geländemodell gelöscht werden. Die entstehenden ‚Löcher‘ im Geländemodell werden nicht zusätzlich neu gefüllt, da hier passgenau die 3D modellierte Planung eingesetzt wird und diese Stellen automatisch überdeckt.

Nachdem die 3D-Planung in die photogrammetrisch erzeugte 3D-Bestandsumgebung eingefügt wurde, können die Kamera- und Lichteinstellungen gemäß den vorherigen beiden Methoden durchgeführt und die Szene gerendert werden. Da sich, anders als bei der Methode 2 die Planung bereits dreidimensional in den Bestand einfügt, ist bei der Methode 3 keine weitere Nachbearbeitung in Photoshop® notwendig.

3.4 Entwicklung eines eigenen Kriterienkataloges zur Beurteilung der Ergebnisse auf gestalterische Qualität und praktische Anwendbarkeit

Im Folgenden werden, auf Grundlage der vorangegangenen Literaturrecherche im Kapitel 2.1 sowie der gemachten Erfahrung bei der Umsetzung der drei Methoden, Bewertungskriterien erörtert, die bei einer Bewertung und Gegenüberstellung der jeweiligen Visualisierungsergebnisse helfen sollen. Aus gegebenem Grund werden hierzu jeweils Kategoriengruppen aufgestellt. Dadurch können die aus der Literaturrecherche ergebenden gestalterischen Qualitätskriterien der praktischen Anwendbarkeit gegenüber gestellt werden.

Die Bewertung der einzelnen Kriterien erfolgt mit Hilfe eines dreistufigen Systems, das sich wie folgt zusammenstellt:

-  5 Punkte: Kriterium wird vollumfänglich oder im Vergleich zu den anderen Ergebnissen signifikant besser erfüllt
-  3 Punkte: erfüllt das Kriterium teilweise, weist Schwächen gegenüber dem besten Ergebnis/Stärken gegenüber dem schlechtesten Ergebnis auf
-  1 Punkt: Kriterium wird nicht oder im Vergleich zu den anderen Ergebnissen signifikant schlechter erfüllt

Innerhalb der einzelnen Bewertungskriterien werden die Einflussfaktoren noch einmal genauer differenziert, die zu einer besseren oder schlechteren Bewertung führen. Darüber hinaus erfolgt bei jedem Bewertungskriterium eine kurze Begründung, warum und mit welcher Gewichtung dieses Kriterium in die Gesamtbewertung der Visualisierungsergebnisse einfließt.

1. Realitätsgrad (Gewichtung x2,5)

Begründet mit dem weit fortgeschrittenen Planungsstand des Beispiels Sportpark Wedau sind abstrakte, schnell entwickelte Perspektiven für Variantenentwicklungen nicht mehr notwendig. Für finale Gespräche mit dem Bauherrn sowie für Öffentlichkeitsarbeit und Bauschilder vor und während der anstehenden Bauphase werden für das vorliegende Planungsbeispiel, wie in Kapitel 2.1.3 ausführlich erläutert, in erster Linie fotorealistische 3D-Visualisierungen benötigt. Daher wird dem Bewertungskriterium ‚Realitätsgrad‘ eine besonders hohe Gewichtung beigemessen und geht 2,5-fach in die Gesamtwertung ein. Folgende Fragestellungen sollen bei der Bewertung dieses Kriteriums helfen: Wie realitätsnah sind die verwendeten Texturen? Wie realitätsgetreu sind verwendete Geometrien? Wie realitätsnah wirken einzelne Landschaftselemente, wie der Wohnkomplex oder einzelne

Bäume, bei genauerer Betrachtung? Wie realistisch wirkt die Umgebungsdarstellung in Kombination mit der Planung insgesamt?

2. Visuelle Klarheit (Gewichtung x1,0)

Eine Planung in der Landschaft steht immer in Wechselbeziehung zu ihrer Umgebung und wird daher sowohl in zweidimensionalen wie auch in dreidimensionalen Darstellungen niemals separat sondern immer zusammen mit der angrenzenden Umgebung dargestellt (Mertens 2010, S.66). Damit das menschliche Auge diese Verschmelzung zwischen Planung und Bestand anerkennt, sollten diese möglichst keinen optischen Unterschied aufweisen (Wissen 2007, S.98 f). Außerdem unterstützen Effekte wie Tiefenunschärfe die visuelle Klarheit. Zur Bewertung dieses Kriterienpunktes sollten folgende Fragen herangezogen werden: Wie wird die Planung in ihre Umgebung eingebettet? Wie wahrnehmbar ist die optische Verschmelzung zwischen Planung und Bestand? Wie wird Tiefenunschärfe zur Unterstützung der visuellen Klarheit eingesetzt? Da dieses Kriterium eine grundlegende Anforderung für alle 3D-Visualisierung nach Sheppard (2001), unabhängig von Projekt und Planungsstand ist, geht das Kriterium einfach in die Bewertung ein.

3. Kreativer Gestaltungsfreiraum (Gewichtung x0,5)

Zwar ist die Erstellung einer 3D-Visualisierung, wie in der einleitenden Recherche beschrieben, immer an grundlegende Anforderungen geknüpft, als kreativer Prozess im Planungsablauf sollte eine 3D-Visualisierung jedoch immer einen gewissen Gestaltungsfreiraum für den Plan- bzw. Visualisierungsverfasser wahren (MERTENS 2010, S.10). Im Rahmen dieses Kriteriums sollen daher die Fragen beantwortet werden, in wie weit gestalterische Freiheit bei der Darstellung der Umgebung besteht, ohne dabei die Legitimität und die wahrheitsgetreue Darstellung der tatsächlichen Umgebung zu verletzen? Besteht beispielsweise die Möglichkeit, durch veränderte Laubfärbung der Bäume, einen abweichenden Jahreszeitpunkt darzustellen? Wie schnell können sonstige Veränderungen in der Umgebungsdarstellung vorgenommen werden, um nach Wunsch des Visualisierungsverfassers kreative Effekte einbauen zu können? Als grundlegendes Prinzip der Gestaltungsfreiheit sollte dieses Kriterium zwar in die Bewertung aufgenommen werden, da es jedoch bei falscher Einschätzung bzw. Umsetzung Auswirkungen auf den gewünschten Realitätsgrad haben kann, wird die Gewichtung auf 0,5 reduziert.

4. Praktische Durchführbarkeit (Gewichtung x0,5)

Die Qualität einer Visualisierung ist unter anderem von den technischen Fähigkeiten des ‚Verfassers‘ abhängig (Stendel 2013, S.16). Je unterschiedlicher und komplizierter die Hard- und Software für die Erstellungsmethode einer 3D-Visualisierung ist, desto nachhaltiger wird die praktische Durchführbarkeit der Methode beeinträchtigt. Die Fragen dieses Kriterienpunktes sind also: Wie hoch ist das benötigte Hard- und Software- Know-how? Gibt es sonstige Einflussgrößen, die die Durchführbarkeit der Methoden beeinträchtigen? Da jedoch davon ausgegangen werden kann, dass bei dem für Visualisierungen eingesetzten Fachpersonal in Planungsbüros etc., ein gewisses technisches Know-how vorausgesetzt werden kann, soll dieses Kriterium nicht ausschlaggebend in die Gesamtwertung mit eingehen und wird daher lediglich 0,5-fach gewichtet.

5. Verhältnis zeitlicher Aufwand zum Ertrag Umgebungsdarstellung (Gewichtung x2)

Unter diesem Kriterium soll der benötigte Zeitaufwand dem tatsächlich generierten Umgebungsmodell bzw. bei Methode 2 der faktisch dargestellten Umgebung flächenmäßig gegenübergestellt und so annähernd die Wirtschaftlichkeit der Methode bewertet werden. Da die Wirtschaftlichkeit einer 3D-Visualisierung für viele Planungsbüros eine hohe Relevanz im Alltag der Planungspraxis hat,

fließt das Kriterium mit doppelter Punktzahl in die Gesamtwertung ein.

Hierzu ist bei jeder Methode separat der zeitliche Aufwand der Durchführung genau zu dokumentieren. In Form einer Tabelle werden, unter Verwendung geeigneter Zwischenschritte der tatsächliche Zeitaufwand aufgelistet und der Gesamtaufwand zusammengerechnet. Die Ermittlung des Ertrages der Umgebungsfläche bezieht sich rein auf die modellierte oder generierte Fläche, nicht auf die Masse bzw. den Detailgrad. Hierzu wird die in der Visualisierung dargestellte Umgebungsfläche näherungsweise in einem Lageplan bemessen. Der Einfachheit halber wird lediglich jeweils die erste der beiden Visualisierungen der drei Methoden zeitlich und flächenmäßig ausgewertet. Die Fläche in ha wird durch den Zeitaufwand in h geteilt. Je größer der Wert, desto besser ist das Ergebnis. Da es hierzu keine genauen Bewertungsmaßstäbe in der Literatur gibt, kann die Bewertung nur durch den Vergleich der drei Methoden untereinander erfolgen.

6. Dateigrößen (Gewichtung x0,5)

Lange Zeit spielten Dateigrößen einen wesentlichen Aspekt in Bezug auf begrenzte Speicherkapazität. Durch immer leistungsfähigere Datenspeichersysteme rückt dieser Aspekt langsam in den Hintergrund (GÜNTNER U. BORRMANN 2011, S.4). Trotzdem kann es in der Planungspraxis beispielsweise bei speicherintensiven Bearbeitungsprozessen durch veraltete Server oder bei dem Versenden in internetschwachen Regionen zu Beeinträchtigung in der Methodenbearbeitung kommen. Aus diesem Grund fließt das Kriterium mit 0,5-facher Gewichtung in die Bewertung mit ein. Die kleinste Dateigröße erhält das beste Ergebnis, die größte Datei das schlechteste.

7. Mögliche Weiterverarbeitung VR

Wie im Kapitel 2.1.1 angerissen, handelt es sich bei VR Anwendungen um Darstellung und gleichzeitige Wahrnehmung der Wirklichkeit in einer virtuellen, computergenerierten, interaktiven Umgebung. Inwieweit lässt sich das generierte 3D-Modell der jeweiligen Methode für solche Anwendungen weiterverwenden, das heißt, ist es möglich, sich in der 3D-Planung inklusive ihrer Umgebung dreidimensional frei zu bewegen? Da in dieser Arbeit der Schwerpunkt auf statischen Visualisierungsergebnissen beispielsweise für Printmedien liegt und nicht auf dynamischen Bewegungsmodellen, wird dieses Kriterium lediglich als Vorgriff zum Kapitel 7 ‚Ausblick‘ verstanden und wirkt sich durch die Verwendung einer separaten, dritten Kategorie nicht auf die Gesamtbewertung aus. Außerdem wird für dieses Kriterium die mittlere Bewertungsstufe ● ausgelassen, da die gestellten Fragen nur mit ja oder nein beantwortet werden können.

Insgesamt werden sieben Kriterien der Bewertung zu Grunde gelegt. Die Kriterien eins bis drei werden unter der Kategorie ‚gestalterische Qualität‘ zusammengefasst. Hier ergibt sich durch die festgelegten Gewichtungen der einzelnen Bewertungskriterien ein mögliches Punktespektrum von mindestens vier bis maximal 20 Punkten. Unter der Kategorie ‚praktische Anwendbarkeit‘ werden die Kriterien vier bis sechs zusammengefasst. Hier ergeben sich durch die festgelegten Gewichtungen der einzelnen Bewertungskriterien ein mögliches Punktespektrum von mindestens drei bis maximal 15 Punkten.

4 ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die Visualisierungsergebnisse der drei durchgeführten Methoden dargestellt, beschrieben und auf Grundlage des erstellten Kriterienkataloges bewertet.

Allgemein wurden für die Gegenüberstellung pro Methode zwei Visualisierungsergebnisse mit unterschiedlichen Kamerastandpunkten erstellt. Die beiden gewählten Kamerapositionen stimmen bei den jeweiligen Ergebnissen der drei Methoden exakt überein. Sie wurden so gewählt, dass alle in Kapitel 3.1 festgelegten, markanten Landschaftselemente gut sichtbar dargestellt werden können. Die Perspektive 1 blickt aus Osten in westliche Richtung über das geplante Vereinsgebäude sowie die dahinterliegenden 3 geplanten Großspielfelder, die von den Bestandsgehölz-Allen gerahmt werden und das Zentrum des Bildausschnittes einnehmen. Der hexagonförmige Wohnkomplex der Sportschule Wedau liegt als optischer Bezugspunkt etwas außerhalb der oberen Bildachse. Der linke Bildrand wird von den bestehenden, linear angeordneten Großspielfeldern begrenzt.

Die Perspektive 2 blickt aus entgegengesetzter Richtung von West nach Ost über die geplante Anlage und legt damit den Fokus auf die Eingangssituation der Sportflächen über die Friedrich-Albers-Straße sowie den Vorplatz der Sportschule-Wedau mit Wohnkomplex. Der linke Bildrand wird von den südlichen Ufern der Magareten-Seen begrenzt. Entlang der oberen Bildgrenze liegt, etwas hinter dem Gehölzbestand versteckt, die Regattastrecke. Der Wohnkomplex befindet sich markant im unteren Bildvordergrund, wodurch dessen optische Unterschiede in dieser Perspektive optimal für die drei jeweiligen Methodenergebnisse aufgezeigt werden können.

4.1 Händische Umgebungsmodellierung (Methode 1)

4.1.1 Ergebnisse

Tabelle 6: Zeitaufwand in h für Methode 1

Arbeitsschritte	Zeitaufwand in h
Anlegen der 3D Flächen und Gebäude VW	7,5
Texturieren der Modellierung in Cinema4D®	6,5
Platzieren der 3D Bäume in Cinema4D®	5
Modellierung und Texturierung Planung	5,5
Kamera und Lichteinstellungen	2,25
Rendern der Szene	0,75
Zeitaufwand Gesamt	27,5

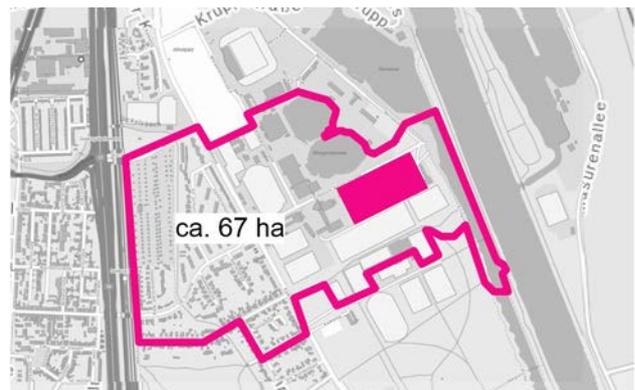


Abbildung 17: generierte Fläche Methode 1

Der benötigte Zeitaufwand ist nach den einzelnen Arbeitsschritten in Tabelle 6 aufgeführt sowie die generierte Umgebungsfläche unmaßstäblich in Abbildung 17. Das Verhältnis zwischen generierter Umgebungsfläche zu verwendetem Zeitaufwand liegt bei $67 \text{ ha} / 27,5 = 2,43$.

Die Abbildung 18 zeigt das Visualisierungsergebnis der Perspektive 1, die Abbildung 19 zeigt die Perspektive 2. In beiden Visualisierungsergebnissen füllt die modellierte Umgebungsfläche nicht den gesamten Bildrahmen und läuft, insbesondere in Richtung des oberen Bildrandes, in einen



Abbildung 18: Visualisierungsergebnis Methode 1_Perspektive 1



Abbildung 19: Visualisierungsergebnis Methode 1_Perspektive 2

Weißraum bzw. bei Perspektive 1 in einen weißen Horizont mit hellblauem Himmel aus. Die Grenze zwischen Horizont und Himmel verläuft mit hellem Schleier ineinander. Die beiden Wasserflächen der Margarten-Seen füllen in Perspektive 1 den weißen Raum des rechten, oberen Bildrandes als einfachere, aus dem Kataster kopierte, Polygonflächen mit matt-graublauer Füllfarbe und leichter Nuancierung. Die restliche Fläche der umliegenden Freizeitsportfläche im nördlichen Sportparkbereich sowie das Fußballstadion im Norden sind in Perspektive 1 nicht dargestellt. Die in südlicher Richtung parallel angrenzenden Bestandsspielfelder sind in der gleichen Haptik-Textur wie die geplanten Spielfelder dargestellt, farblich jedoch heller von diesen abgesetzt, wodurch die geplanten Spielfelder etwas stärker thematisiert werden.

Die entstandenen Dateigrößen für die Durchführung der Methode 1 werden in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7: Dateigrößen Methode 1

Datei	Dateigröße in MB
Umgebungs-Modell Vectorworks®	50,06
Planungs-Modell Vectorworks®	1,11
3D Szene Cinema4D®	292,00
Dateigrößen Methode 1 Gesamt	343,17

4.1.2 Bewertung auf Grundlage des Kriterienkataloges

Realitätsgrad ○ ● ○ 3 x 2,5 = 7,5

Die verwendeten Texturen der Methode 1 orientieren sich an realistischen Belägen und Oberflächen der jeweiligen Objekte. Der Großflächigkeit vieler Umgebungsflächen geschuldet, werden diese jedoch aneinander dupliziert und dadurch, insbesondere durch die Entfernung der Vogelperspektive, optisch zu fein texturierten, monoton wirkenden Flächen. Insbesondere die Textur der umliegenden Rasenflächen wirkt durch die Entfernung sehr gleichmäßig und unnatürlich. Der Realitätsgrad der Texturen kann insgesamt als mittelmäßig beschrieben werden.

Ähnlich verhalten sich die modellierten Geometrien. Sie sind einzeln betrachtet so realitätsnah, dass sie ohne Probleme als die realen Objekte identifiziert werden können, wirken jedoch in ihrer Gesamtheit und bei intensiverer Betrachtung plastisch und nur eingeschränkt realitätsnah.

Bei der näheren Untersuchung der Vegetation wird insbesondere bei den Bäumen deutlich, dass auch sie einzeln betrachtet zwar einen hohen Detaillierungsgrad aufweisen. Zusammen weisen sie jedoch, trotz der angewendeten Variationen in Art, Höhe, Rotation und Farbgebung, eine hohe Gleichmäßigkeit auf, wodurch der Gehölzbestand insgesamt relativ unrealistisch wirkt. Dies wird insbesondere bei der Baumallee der Friedrich-Albers-Straße am linken Bildrand der 2. Perspektive deutlich. Durch die wahrnehmbare Regelmäßigkeit der durchschimmernden Stammpartien wirken die Bäume insgesamt sehr monoton und dadurch nur eingeschränkt realitätsnah.

Der Wohnkomplex im unteren Vordergrund der 2. Perspektive weist durch die Anzahl an modellierten Objekten auf dem Dach und der Fassade für den ersten Eindruck einen relativ hohen Detaillierungsgrad auf. Bei intensiverer Einzelbetrachtung und im Vergleich mit dem tatsächlichen Gebäude, das in Methode 2 abgebildet ist, wird jedoch deutlich, dass die einzelnen Objekte an sich sehr plastisch wirken und es insgesamt nur eine teilweise realitätsnahe Abbildung ergibt.

Betrachtet man die beiden Perspektiven insgesamt, wirken die Ergebnisse nur bedingt realistisch. Im Vergleich zur Methode 2 weisen die Ergebnisse im Hinblick auf den Realitätsgrad deutliche Defizite auf, im Vergleich zur Methode 3 jedoch wirken sie durch den deutlich erhöhten Detaillierungsgrad der Geometrien wesentlich realistischer.

Optische Klarheit ○ ● ○ 3 x 1 = 3

Da die Planung in demselben Stil wie das händisch modellierte Umgebungsmodell erstellt wurde, fügt sich diese zunächst optisch angenehm in das Gesamtbild ein. Jedoch weisen die Visualisierungen der Methode 1, wie bereits bei der Darstellung der Ergebnisse beschrieben, große Weißräume um die modellierte Umgebungsfläche bis zum Horizont auf. Dadurch setzt sich die gesamte modellierte Umgebungsfläche inklusive der Planung stark von dem weißen Hintergrund ab. Dem Betrachter ist dadurch zunächst nicht klar, ob die gesamte Fläche außerhalb des Weißraumes geplante Landschaftsfläche ist, was insgesamt zu Irritationen führt. Auch der Versuch, die südlichen Bestandsspielfelder etwas aufzuhellen, um eindeutiger zu zeigen, bei welchen Spielfeldern es sich um die geplanten Felder handelt, führt zu Missverständnissen hinsichtlich der Glaubwürdigkeit der Umgebungsdarstellung. Lediglich die Margareten-Seen sowie die angedeuteten Bebauungen in weißer Kubatur hinter der Sportanlage, lenken die optische Wahrnehmung leicht zu dem Effekt der Tiefenunschärfe. Außerdem ermöglichen diese noch eine ansatzweise Orientierung im weiteren Umfeld, anders als es beispielsweise bei Methode 3 ist. Da die Visualisierungsergebnisse der Methode 1 Stärken gegenüber der Methode 3, gegenüber der Methode 2 jedoch klare Defizite hinsichtlich der visuellen Klarheit aufweist, erzielen sie in dieser Kategorie ein mittleres Ergebnis.

Kreativer Gestaltungsfreiraum ● ○ ○ 5 x 0,5 = 2,5

Unter der Prämisse der realitätsgetreuen Abbildung der Landschaft sollte natürlich auch bei dieser Methode der händischen Modellierung die Darstellung der Umgebung nicht willkürlich erfolgen, was den Gestaltungsfreiraum natürlich von vorne herein beschränkt. Trotzdem lässt sich die Wahrnehmung der realen Umgebung, anders als in den beiden anderen Methoden, beeinflussen. Nach Wunsch des Verfassers besteht beispielsweise in früheren Leistungsphasen die Möglichkeit zu abstrakteren Visualisierungstypen, die durch Reduktion oder Auslassen von Landschaftselementen Blicke und Aufmerksamkeiten lenken können. Auch im Rahmen von situationsbedingter Reaktion auf gegebene Jahreszeiten, gewährt diese Methode den höchsten Gestaltungsfreiraum, z.B. im Hinblick auf einfache farbliche Veränderungen der Laubtexturen. Im Vergleich zu den beiden anderen Methoden besteht in dieser Methode insgesamt der größte kreative Freiraum, weshalb die Methode in dieser Kategorie das beste Ergebnis erzielt.

Praktische Durchführbarkeit ● ○ ○ 5 x 0,5 = 2,5

Die praktische Durchführung dieser Methode ist ohne maßgebliche Beeinträchtigungen möglich. Zwar erfordert eine aufwendige Umgebungs-Modellierung ein hohes Maß an Expertise und Knowhow im Bereich der 3D-Modellierung, jedoch werden im Vergleich zu den anderen beiden Methoden am wenigsten Programme und keine zusätzliche Hardware benötigt. Außerdem ist die händische Modellierung unabhängig von Jahreszeiten und Wetterlagen. Des Weiteren lassen sich in dieser Methode, als Abgrenzung zu Methode 2, Perspektiveinstellungen im Nachhinein problemlos bearbeiten und ändern. Aus diesem Grund bestehen bei dieser Methode insgesamt die geringsten Einschränkungen für die praktische Durchführbarkeit, weshalb in dieser Kategorie die höchste Punktzahl gewertet wird.

Verhältnis zeitlicher Aufwand zum Ertrag Umgebungsdarstellung ○ ○ ● 1 x 2 = 2

Mit einem errechneten Verhältnis zwischen verwendetem Zeitaufwand (27,5 h) und generierter Umgebungsfläche (67 ha) von **2,43** liegt die Methode 1 zwischen den Werten der Methoden 2 und 3. Da sich jedoch die Werte der Methoden 1 und 3 beide so signifikant schlechter zu der Methode 2 verhalten, wird in dieser Kategorie von einer mittleren Bewertung abgesehen und sowohl für Methode 1 als auch Methode 3 die schlechteste Bewertungsstufe angesetzt.

Dateigrößen ● ○ ○ 5 x 0,5 = 2,5

Mit einem insgesamt Dateigröße von **343,17 MB** liegt die Methode 1 zwischen den Werten der Methoden 2 und 3. Da sich jedoch die Werte der Methoden 1 und 2 beide so signifikant besser zu der Methode 3 verhalten, wird in dieser Kategorie von einer mittleren Bewertung abgesehen und sowohl für Methode 1 als auch Methode 2 die beste Bewertungsstufe angesetzt.

Mögliche Weiterverarbeitung VR ● ○

Grundsätzlich lässt sich das generierte Umgebungsmodell dieser Methode inklusive der integrierten Planung als Objekt-Datei an VR-Darstellungsprogramm übergeben. In der Planung sowie in der Umgebung kann sich auf diese Weise dreidimensional frei bewegt werden. Inwieweit sich die Umgebungsdarstellung dieser Methode und dessen zuvor analysierten, gestalterischen Qualitäten auf die Immersivität der Planung während der VR-Anwendung auswirkt, wird in Kapitel 7 ‚Ausblick‘ diskutiert.

4.2 2D-Drohnenbild-Hintergrund (Methode 2)

4.2.1 Ergebnisse

Der benötigte Zeitaufwand ist nach den einzelnen Arbeitsschritten in Tabelle 8 sowie die generierte Umgebungsfläche unmaßstäblich in Abbildung 20 aufgeführt. Durch die Industrie-Schornsteine im rechten sowie die weißen Stadtwerketürme im linken, oberen Bildhintergrund, wurde die zu erkennende Umgebungsfläche näherungsweise ermittelt. Die dahinterliegende Landschaft bis zum Horizont wurde auf Grund ihrer hohen Unschärfe und Unbestimmtheit aus der Flächenermittlung ausgeklammert. Das Verhältnis zwischen generierter Umgebungsfläche zu verwendetem Zeitaufwand liegt bei 1500 ha / 8,3 h = aufgerundet **181**.

Tabelle 8: Zeitaufwand in h für Methode 2

Arbeitsschritte	Zeitaufwand in h
Befliegung	0,25
Auswertung Fotos und Festlegen Bild	0,25
Vorbereiten Hintergrundbild in Photoshop®	0,5
Anlegen 3D Datei mit 2D-Hintergrundbild	0,25
Modellierung und Texturierung Planung	5,5
Kamera und Lichteinstellungen	0,75
Rendern der Szene	0,05
Nachbearbeitung Photoshop®	0,75
Zeitaufwand Gesamt	8,30

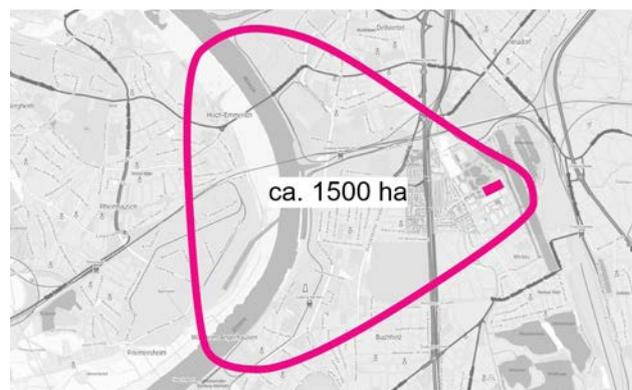


Abbildung 20: generierte Fläche Methode 2

Tabelle 9: Dateigrößen Methode 2

Datei	Dateigröße in MB
Planungs-Modell Vectorworks®	1,11
3D Szene Cinema4D®	114,00
Photoshop® Datei Perspektive 1	107,54
Dateigrößen Methode 2 Gesamt	222,65

Die entstandenen Dateigrößen für die Durchführung der Methode 1 werden in Tabelle 9 aufgeführt. Auf Grund der nahezu identischen .psd Dateigrößen der Perspektive 1 und 2 wird der Einfachheit halber lediglich die Dateigröße der Perspektive 1 in die Tabelle aufgenommen. Die Vergleichbarkeit der 3 Methoden untereinander bleibt erhalten.



Abbildung 21: Visualisierungsergebnis Methode 2_Perspektive 1



Abbildung 22: Visualisierungsergebnis Methode 2_Perspektive 2

Die beiden Visualisierungsergebnisse sind in Abbildung 21 und Abbildung 22 dargestellt. Wie im Kapitel 3.3.2 beschrieben, liegen bei den Visualisierungsergebnissen der Methode 2 jeweils die Drohnenbilder DJI_1348 und DJI_1332 im Hintergrund der modellierten Planung. Dadurch füllt die dargestellte Umgebung, anders als bei Methode 1 und 3, automatisch den gegebenen Bildrahmen voll aus. Insbesondere in der Perspektive 1 wird der mögliche Umfang der darzustellenden Umgebung deutlich. Durch den eingesetzten Neigungswinkel der Kamera ergibt sich auf einer Drohnenhöhe von etwa 100 m eine perspektivische Sichtweite bis zum Horizont. Die Perspektive 1 der Methode 2 ist das einzige Visualisierungsergebnis, dass die Schauinsland-Reisen-Arena darstellt. Die Bestands-Drohnenbilder können als Abgleich dem Anhang entnommen werden.

4.2.2 Bewertung auf Grundlage des Kriterienkataloges

Realitätsgrad ● ○ ○ 5 x 2,5 = 12,5

Die Darstellung sämtlicher Landschaftsobjekte erfolgt durch die Verwendung von aktuellen Aufnahmen der reellen Umgebung automatisch sowohl in ihrer tatsächlichen, feinstrukturierten Real-Geometrie als auch in der realen Texturierung. Die optischen Unterschiede des Realitätsgrades der drei Methoden lassen sich insbesondere an dem Kopf des Wohnkomplexes der Sportschule Wedaus im Vordergrund der Perspektive 2 gegenüberstellen. Das Visualisierungsergebnis der Methode 2 weist gegenüber den Ergebnissen der anderen beiden Methoden den signifikant höchsten Detaillierungs- und damit Realitätsgrad auf.



Abbildung 23: Detail-Gegenüberstellung des Wohnkomplexdaches der Sportschule Wedau aus Perspektive 2

Diese Beobachtung lässt sich auf alle weiteren Detailbereiche der Visualisierungen und auch auf die Betrachtung der Gesamtperspektive übertragen. Eine höhere Form des zu erreichenden Realitätsgrades ist für die Umgebungsdarstellung in einer statischen 3D-Visualisierung nicht möglich.

Optische Klarheit ● ○ ○ 5 x 1 = 5

In den Visualisierungsergebnissen der Methode 2 verschmilzt die modellierte Planung optisch nahezu einwandfrei mit der Umgebung, wodurch der Zustand der dargestellten Landschaft den Eindruck erweckt, dass es sich bereits um einen fertigen Endzustand handelt. Auf den ersten Blick ist insbesondere bei der Perspektive 1 optisch kein Unterschied zwischen Planung und Bestand wahrnehmbar. Auch die wahrnehmbare Tiefenunschärfe unterstützt die optische Klarheit der Visualisierungen. Mit zunehmender Entfernung nimmt die Schärfe der Landschaftsobjekte im Hintergrund ab, sodass der Horizont diffus mit dem Himmel verschwimmt. In der Perspektive 2 ist die Tiefenunschärfe nur leicht durch einen kaum wahrnehmbaren Dunstschleier über der Regattastrecke an dem oberen Bildrand angedeutet. In beiden Fällen ergibt sich dieser Effekt der Tiefenunschärfe durch die ‚natürlichen‘ Kameraeigenschaften der eingesetzten Drohne und musste nicht als nachträgliche Rendereinstellung vorgesehen werden.

Leichte optische Auffälligkeiten im Bereich der Umgebungsdarstellung ergeben sich lediglich im Bereich des mittleren Bestandsgrößspielfeldes im Süden, das vermutlich durch eine Rasenmahd eine grobere Farbstruktur aufweist, als die übrigen Bestands-Sportflächen. Dies hat jedoch keinen nachhaltigen Einfluss auf die Gesamtwirkung. Insbesondere im Vergleich mit den beiden anderen Methoden, erzielen die Visualisierungsergebnisse der Methode 2 daher das beste Ergebnis im Hinblick auf die optische Klarheit.

Kreativer Gestaltungsfreiraum ○ ● ○ 3 x 0,5 = 1,5

Durch die Verwendung von Bildaufnahmen der realen Umgebungssituation ist der kreative Gestaltungsspielraum, insbesondere im Vergleich zu den Möglichkeiten in Methode 1, begrenzt. Zwar besteht im Rahmen der Drohnenbefliegung durch die Wahl des Blickwinkels und des Bildausschnittes die Möglichkeit, gestalterischen Einfluss auf die Darstellung eines Projektes zu nehmen. Da dieser Schritt jedoch für alle 3 Methoden im Rahmen dieser Arbeit vereinheitlicht wurde, kann das Argument an dieser Stelle nicht in die Wertung eingehen.

Was jedoch gewertet werden kann, ist der kreative Umgang mit den Bildaufnahmen bis hin zum finalen Visualisierungsergebnis. Anders als in Methode 3 ist das Bildbearbeitungsprogramm Photoshop® ohnehin sowohl für die Bildvor- als auch Nachbereitung im Einsatz. In diesem Zuge können auf einfachem Wege auch kreative Bildeingriffe, wie z.B. partielle Farbanpassungen im Bereich der Umgebungsdarstellung, vorgenommen werden. Daher kann der kreative Gestaltungsfreiraum insgesamt als mittelmäßig gewertet werden.

Praktische Durchführbarkeit ○ ● ○ 3 x 0,5 = 1,5

Insbesondere gegenüber der UAV-freien Methode 1 werden für die Durchführung der Methode 2 und der Methode 3 insgesamt mehr unterschiedliche Hard- und Software benötigt. Der Einsatz von UAV für Bilddatenaufnahmen beeinflusst die praktische Durchführbarkeit der Methode 2 wie folgt: die benötigte Flugexpertise ist nicht so hoch, wie bei Aufnahmen für Photogrammetrien in Methode 3. Wenn das aufgenommene Bildmaterial jedoch später im Büro nicht gefällt, muss ggf. eine weitere Befliegung durchgeführt werden. Außerdem ist die Methode, bedingt durch den Drohneneinsatz und die Verwendung von realen Momentaufnahmen, abhängig von Jahreszeiten und Wetterbedingungen.

Im Hinblick auf die Software ist, wie bereits beschreiben, die zusätzliche Verwendung von Bildnachbearbeitungsprogrammen wie Photoshop® für hochwertige Visualisierungsergebnisse unabdingbar. Im 3D-Visualisierungsprogramm selber wird jedoch gegenüber den Methoden 1 und 3 nur wenig Know-How benötigt: die erforderlichen Einstellungen können mit wenigen unkomplizierten Schritten vorgenommen werden. Insgesamt lässt sich die praktische Durchführbarkeit im Abgleich mit den beiden anderen Methoden als mittleres Ergebnis bewerten.

Verhältnis zeitlicher Aufwand zum Ertrag Umgebungsdarstellung ● ○ ○ 5 x 2 = 10

Mit einem errechneten Verhältnis zwischen verwendetem Zeitaufwand (8,30 h) und generierter Umgebungsfläche (1500 ha) von **181** erzielt die Methode 2 das signifikant beste und damit wirtschaftlichste Ergebnis.

Dateigrößen ● ○ ○ 5 x 0,5 = 2,5

Mit einer insgesamten Dateigröße von **222,65 MB** weist die Methode 2 im Vergleich zu den beiden anderen Methoden die kleinste notwendige Dateigröße zur Durchführung der Visualisierung auf.

Mögliche Weiterverarbeitung VR ●

Die Kameraeinstellungen des statischen 3D-Visualisierungsergebnisses sind exakt auf die Kameraeinstellungen der im Hintergrund liegenden Luftaufnahme abgestimmt. Sobald also der Kamerastandort verändert wird, verliert die Planung den Bezug zur dargestellten Umgebung. Das macht diese Methode unverwendbar für VR-Anwendungen bei denen die Planung inklusive ihrer Umgebung dynamisch dargestellt werden soll.

4.3 Photogrammetrische 3D-Umgebung (Methode 3)

4.3.1 Ergebnisse

Der benötigte Zeitaufwand ist nach den einzelnen Arbeitsschritten in Tabelle 10 sowie die generierte Umgebungsfläche unmaßstäblich in Abbildung 24 aufgeführt. Das Verhältnis zwischen generierter Umgebungsfläche zu verwendetem Zeitaufwand liegt bei $16 \text{ ha} / 25,3 \text{ h} = 0,63$.

Tabelle 10: Zeitaufwand in h für Methode 3

Arbeitsschritte	Zeitaufwand in h
Befliegung	1,25
Auswertung Fotos	0,75
Metashape®: Fotos ausrichten	3,25
Metashape®: dichte Punktwolke	4,25
Metashape®: Filterung	0,5
Metashape®: Mesh erzeugen	1,75
Metashape®: Textur rechnen	0,55
Export Metashape® u. einladen Cinema4D®	0,75
Modellierung und Texturierung Planung	5,5
Anpassen Bestands 3D Modell auf Planung	5,75
Kamera und Lichteinstellungen	0,75
Rendern der Szene	0,25
Zeitaufwand Gesamt	25,30

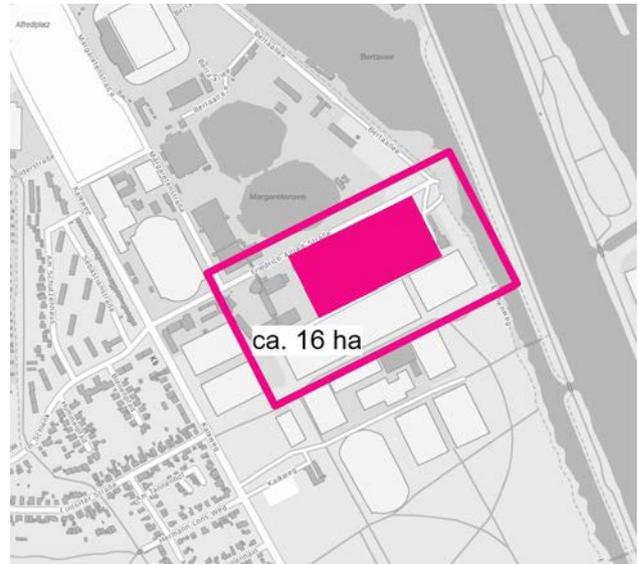


Abbildung 24: generierte Fläche Methode 3

Tabelle 11: Dateigrößen Methode 3

Datei	Dateigröße in MB
Planungs-Modell Vectorworks®	1,11
Metashape® Dateiodner	2.801,23
3D Szene Cinema4D®	560,00
Dateigrößen Methode 3 Gesamt	3.362,34

Die entstandenen Dateigrößen für die Durchführung der Methode 1 werden in Tabelle 11 aufgeführt.

Die beiden Visualisierungsergebnisse der Perspektiven 1 und 2 lassen sich den Abbildungen 25 und 26 entnehmen. Ähnlich der Methode 1

weisen auch die Ergebnisse dieser Methode auffällige Weißräume im oberen Bildbereich auf, die durch das Fehlen von modellierter Umgebungsfläche entstehen. Die dargestellte modellierte Umgebung endet in Perspektive 1 fast unmittelbar hinter dem Wohnkomplex und dessen seitlichem Baumbestand; im Norden sind die Ufer der Margereten-Seen lediglich ansatzweise wahrnehmbar. Die dahinterliegende Fläche verläuft als Weißraum Richtung Horizont mit dem Himmel. Der Effekt der Tiefenunschärfe hat dadurch nahezu keine Relevanz. In der Perspektive 2 endet das Umge-



Abbildung 25: Visualisierungsergebnis Methode 3_Perspektive 1



Abbildung 26: Visualisierungsergebnis Methode 3_Perspektive 2

bungsmodell an der Baumreihe der Regattastrecke sowie entlang des Baumbestandes zwischen südlichen Großspielfeldern und angrenzenden Tennisplätzen.

4.3.2 Bewertung auf Grundlage des Kriterienkataloges

Realitätsgrad ○ ○ ● 1 x 2,5 = 2,5

Hinsichtlich des Realitätsgrades ergeben sich bei dieser Methode teilweise Divergenzen: Zwar wurden für die Texturierung des generierten Umgebungsmodelles die realen Luftbilder der Drohnenbefliegung verwendet, wodurch der Realitätsgrad der reinen Texturen sehr hoch ist. Die Farbigkeiten und die Optik der Oberflächen etc. stimmen mit der Realität überein.

Die aus den Drohnenbildern photogrammetrisch generierte Geometrie der Umgebung weist dagegen nur eine sehr eingeschränkte Realitätstreue auf. Durch die automatisierte Vermaschung der erzeugten Punktwolken entstehen vereinfachte, plastisch wirkende Objektkörper. Insbesondere im Bereich der Baumkronen wird dies deutlich. Da die Baumstrukturen einen relativ hohen Anteil und eine zentrale optische Präsenz in der Visualisierung einnehmen, wirkt sich dies sehr negativ auf den wahrnehmbaren Realitätsgrad der Visualisierung insgesamt aus. Zusätzlich zu den beschriebenen plastischen Oberflächen, weist das Umgebungsmodell einige Modellierungsfehler auf. Beispielsweise der Gebäudekopf des hexagonförmigen Wohnkomplexes in Perspektive 2 zeigt einen solchen Fehler des photogrammetrischen Prozesses. An dieser Stelle scheint das Programm nicht genügend Passpunkte zur Generierung einer vollständigen Punktwolke gefunden zu haben, wodurch keine geschlossene Polygonfläche erzeugt werden kann. Das entstandene Loch im 3D-Modell wurde aus optischen Gründen durch eine kreisförmige Fläche in der Farbe des realen Wohnkomplexes gefüllt. Durch diese Fehler wirken die Visualisierungsergebnisse nicht nur realitätsfern sondern sogar fälschlich unrealistisch. Daher werden die Ergebnisse der Methode 3 mit der niedrigsten Punktzahl in der Kategorie Realitätsgrad bewertet.

Optische Klarheit ○ ○ ● 1 x 1 = 1

Wie bei Methode 1 führen die großen Weißräume dazu, dass die Planung und dessen direkt angrenzende Umgebung nicht in einem Kontext mit ihrer umgebenden Landschaft gebracht werden kann. Es fehlen wichtige optische Bezüge, um die Darstellung richtig einordnen zu können.

Darüber hinaus bewirken die plastischen, künstlich wirkenden Gehölzbestände einen harten optischen Bruch zwischen Planung und Bestand. Durch die Nähe zwischen Planung und den direkt angrenzenden Gehölzbeständen, wird dieser direkt wahrnehmbare Unterschied noch einmal verstärkt. Die Planung bettet sich dadurch nicht angenehm in den Bestand ein.

Bei den gräulich gefärbten Unterzügen der Baumkronen (unter anderem im mittigen, linken Bildrand der Perspektive 1 sowie in Perspektive 2 in der rechten, oberen Bildecke bei dem südlichen Gehölzbestand zwischen Großspielfeldern und Tennisplätzen) handelt es sich um optische Irritationen, die die optische Klarheit zusätzlich negativ beeinflussen. Diese optischen ‚Fehler‘ lassen sich vermutlich dadurch begründen, dass von diesen Bereichen keine bzw. zu wenige Schrägaufnahmen bei der Drohnenbefliegung aufgenommen wurden.

Insgesamt und im Abgleich mit den Ergebnissen der beiden anderen Methoden weisen die Visualisierungen der Methode 3 in dieser Kategorie das signifikant schlechteste Ergebnis auf.

Kreativer Gestaltungsfreiraum 1 x 0,5 = 0,5

Zusätzlich zur Einschränkung des Gestaltungsfreiraumes durch die Verwendung von realen Bildaufnahmen wie bei Methode 2 beschrieben, besteht, anders als bei Methode 2, darüber hinaus nahezu keine Möglichkeit, die für die Texturierung verwendete Bilddatei (Abbildung 27) kreativ nachzubearbeiten. Als automatisch berechnete Bildtextur werden die einzelnen Teile der realen Orthofotos passend zum vermaschten Oberflächengitter als eine Art Collage aneinander gelegt. Bei der Betrachtung dieser Texturdatei können nur sehr rudimentär zusammengehörige Bildteile identifiziert werden, was eine partielle, farbliche Nachbearbeitung von einzelnen Landschaftsobjekten wie Einzelbäumen o. ä. nahezu unmöglich macht. Daher wird der kreative Gestaltungsfreiraum dieser Methode als nicht gegeben bewertet.



Abbildung 27: photogrammetrisch erzeugte Texturbilddatei der Methode 3

Praktische Durchführbarkeit 1 x 0,5 = 0,5

Die Durchführbarkeit dieser Methode wird, wie auch bei der Methode 2, durch den Einsatz von UAV-Systemen sowie durch zusätzlich benötigte Software bestimmt. Auch hier wirken Einflussfaktoren wie Jahreszeitenabhängigkeit und Wetterbedingungen. Gegenüber der Methode 2 wird jedoch für die benötigten UAV-Bildaufnahmen als Grundlage von Photogrammetrien eine höhere Flugexpertise sowie eine noch intensivere Vorplanung der Befliegung notwendig. Wenn Aufnahmen vergessen wurden, entstehen, wie es bei dem vorliegenden Beispiel der Fall ist, Löcher im Umgebungsmodell, die nur sehr eingeschränkt und aufwendig behoben werden können.

Außerdem erfordert der Umgang mit den Photogrammetrie-Programmen einen hohen Erfahrungswert, um einen sicheren Umgang mit den möglichen Berechnungseinstellungen und deren folgernden Modellierungsergebnissen zu gewährleisten. Auch das Einpflegen der Planung in das photogrammetrisch generierte Umgebungsmodell im 3D-Visualisierungsprogramm selbst, kann sich gegenüber den einfachen Einstellungen der Methode 2 als recht kompliziert erweisen, insbesondere wenn auf eine hohe Anzahl von vorhandenen Landschaftselementen im Bereich der Planung reagiert werden muss. Da die praktische Durchführbarkeit dieser Methode von den meisten Einflussfaktoren negativ beeinträchtigt werden kann, wird diese Kategorie mit der niedrigsten Punktzahl gewertet.

Verhältnis zeitlicher Aufwand zum Ertrag Umgebungsdarstellung 1 x 2 = 2

Mit einem errechneten Verhältnis zwischen verwendetem Zeitaufwand (25,30 h) und generierter Umgebungsfläche (16 ha) von **0,63** weist die Methode 3 insbesondere im Vergleich zur Methode 2 das signifikant schlechteste Ergebnis auf. Im Vergleich zu dieser kann sie als nicht wirtschaftlich bewertet werden.

Dateigrößen 1 x 0,5 = 0,5

Mit einer insgesamten Dateigröße von **3.362,34 MB** zur Durchführung der photogrammetrischen Herangehensweise weist die Methode 3 im Vergleich zu den beiden anderen Methoden die signifikant größte Dateigröße auf, die sich zudem bemerkbar auf die Handelbarkeit der photogrammetrischen Bearbeitungsprozesse macht.

Mögliche Weiterverarbeitung VR

Die Bewertung der möglichen Weiterverarbeitung VR der Methode 1 kann in gleichem Sinne auf diese Methode übertragen werden.

4.4 Überblickmatrix Gesamtergebnisse

Tabelle 12: Übersicht Gesamtbewertung der 3 Methodenergebnisse

Bewertungskriterium		Methode 1 Händische Umgebungsmodellierung	Methode 2 2D-Drohnenbildhintergrund	Methode 3 Photogrammetrische 3D-Umgebung
gestalterische Qualität	Realitätsgrad (x2,5)	7,5	12,5	2,5
	Optische Klarheit (x1)	3	5	1
	Kreativer Gestaltungsfreiraum (x0,5)	2,5	1,5	0,5
	Gesamt Kategorie 1	13	19	4
praktische Anwendbarkeit	Praktische Durchführbarkeit (x0,5)	2,5	1,5	0,5
	Verhältnis Aufwand/ Ertrag Umgebungsdarstellung (x2)	2	10	2
	Dateigrößen (x0,5)	2,5	2,5	0,5
	Gesamt Kategorie 2	7	14	3
GESAMT Kategorien 1+2		20	33	7
VR	Mögliche Weiterverarb. VR GESAMT Kategorie 3			

Aus der vorangegangenen Einzelbewertung der drei Methoden ergibt sich folgende Gesamtwertung, die der Tabelle 12 entnommen werden kann:

Die Methode 2 erzielt mit insgesamt 33 Punkten das bedeutend beste Gesamtergebnis sowohl in der Kategorie 1 ‚gestalterische Qualität‘ (19 Punkte) als auch in der Kategorie 2 ‚praktische Anwendbarkeit‘ (14 Punkte). Lediglich in den Kriterien ‚kreativer Gestaltungsfreiraum‘ und ‚praktische Durchführbarkeit‘ weist sie gegenüber der Methode 1 leichte Defizite auf, bei allen weiteren Kriterien der Kategorien 1 und 2 erbringt sie das beste Ergebnis.

Die zweite auf UAV-Bilddaten basierende Methode 3 schneidet dagegen in allen Kriterien mit dem bedeutend schlechtesten Ergebnis ab und kommt mit vier Punkten in der Kategorie 1 und 3 Punkten in Kategorie 2 auf lediglich sieben Punkte in der Gesamtwertung. Lediglich in der Kategorie VR be-

weist sie sich zusammen mit Methode 1 als mögliche Weiterverarbeitungsgrundlage. Hier schneidet die Methode 2 mit dem schlechtesten Ergebnis ab. Im Mittelfeld der Gesamtbewertung befindet sich die Methode 1 mit 13 Punkten in der Kategorie 1 und sieben Punkten in Kategorie 2.

Was die Ergebnisse der Bewertung für die mögliche Anwendung im Planungsprozess der drei Methoden bedeuten, bzw. wie sich die Bewertung auf mögliche Einsatzfelder auswirkt, wird im Kapitel 5.2 eingehend diskutiert.

Zur abschließenden Übersicht der Ergebnisse folgt an dieser Stelle noch einmal eine direkte Gegenüberstellung der jeweiligen Visualisierungen der 3 Methoden:



Abbildung 28: Visualisierungsergebnisse Perspektive 1 der Methoden 1-3 im Überblick



Abbildung 29: Visualisierungsergebnisse Perspektive 2 der Methoden 1-3 im Überblick

5 DISKUSSION

Damit die Ergebnisdiskussion in direktem thematischen Zusammenhang mit dem vorangegangenen Kapitel ‚Ergebnisse‘ und den darin aufgezeigten Bewertungen der drei Methoden steht, wird diese vor der generellen Methodendiskussion behandelt.

5.1 Ergebnisdiskussion

An dieser Stelle sollen durch eine Diskussion der obigen Ergebnisbewertungen Schlussfolgerungen für die mögliche Anwendung der drei Methoden in der Planungspraxis gezogen werden. Welche Vor- und Nachteile ergeben sich für die einzelnen Methoden im Hinblick auf die Verwendung im Planungsablauf? Welche Anwendungsmöglichkeiten für 3D-Visualisierungen auf Grundlage von Drohnenbildern ergeben sich gegenüber der ‚herkömmlichen‘ händischen Modellierung aus den Ergebnissen und der daraus folgenden Bewertung der drei Methoden?

5.1.1 Händische Umgebungsmodellierung (Methode 1)

Die vorliegenden Ergebnisse der Methode 1 zeigen, dass eine händisch modellierte Annäherung an eine möglichst realitätsgetreue Darstellung des Bestandes, insbesondere gegenüber der Methode 2, sehr zeitaufwendig ist. Obwohl der erreichte Realitätsgrad der Methode 1 nur sehr eingeschränkt zu dem Realitätsgrad der Methode 2 bewertet werden konnte, wurde für die Methode 1 dennoch fast dreimal so viel Zeitaufwand benötigt. Dadurch wird die Anwendungseignung dieser 1. Methode stark hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit eingeschränkt. Die Methode kann für das Ziel einer fotorealistischen Visualisierung daher nicht empfohlen werden.

Durch den festgestellten Gestaltungsspielraum bzgl. der Darstellungsmöglichkeiten einzelner Landschaftselemente, eignet sie sich dagegen umso besser für die Umsetzung von abstrakten Darstellungstypen. Hier besteht gegenüber beiden UAV-basierten Methoden ein deutlich vereinfachtes und erhöhtes Abstraktionspotenzial. Sobald weniger Arbeit in Texturierung und Modellierung gesteckt wird, vereinfachen sich die Kuben und die Farbgebung. Der Abstraktionsgrad erhöht sich (vgl. Wissen 2007 und Alexander 2013 in Kapitel 2.1.2). Dadurch erweist sich diese Methode der händischen Modellierung, insbesondere für abstraktere, rudimentärere Varianten-Visualisierungen in den früheren Leistungsphasen, als deutlich effizienter. Hier ist jedoch ein besonderes Augenmerk darauf zu legen, dass die Darstellung der Landschaft zwar vereinfacht aber nicht fälschlich erfolgen sollte, damit die Visualisierung insgesamt nicht ihre Legitimität verliert (vgl. Sheppard 2001 in Bishop u. Lange 2005 in Kapitel 2.1.2). Durch den festgestellten Gestaltungsspielraum birgt diese Methode diesbezüglich ein gewisses Gefahrenpotenzial.

Die wichtigsten Vor- und Nachteile dieser Methode in Bezug auf eine mögliche Verwendung im Planungsprozess lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 13: Übersicht Vor- und Nachteile Methode 1

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Durchführung der Methode ohne zusätzliche Hardware möglich, unabhängig von äußeren Einflussfaktoren - Zeitaufwand für abstrakte Visualisierungsstile gering, dadurch Eignung für einfache Varianten-Visualisierungen in früheren Leistungsphasen 	<ul style="list-style-type: none"> - Visualisierungsaufwand und -ergebnis stark abhängig vom Know-how und Gestaltungsstil des Verfassers - Gefahr zum Verlust der Legitimität durch fälschliche Umgebungsdarstellung durch Visualisierungsverfasser - Zeitaufwand steigt je höher der Anspruch an Fotorealismus ist - Insbesondere im Vergleich zu Methode 2 ungeeignet für fotorealistische Ergebnisse im fortgeschrittenen Planungsprozess

5.1.2 2D Drohnenbild-Hintergrund (Methode 2)

Auf Grundlage der positiven Einzelkriterien-Bewertungen als auch der bedeutend besten Gesamtbewertung der beiden Kategorien ‚gestalterische Qualität‘ als auch ‚praktische Anwendbarkeit‘ kann eine uneingeschränkte Eignungsempfehlung dieser Methode für statische, fotorealistische Visualisierungszwecke ausgesprochen werden. Denkbare Einsatzszenarien für solche fotorealistischen Visualisierungen wären beispielsweise innerhalb von Entwurfs- und Ausführungsplanungen zur Ideenvermittlung und Unterstützung von Diskussionen zwischen allen Beteiligten, aber auch während der Bauphase in Form von Bauschildern als Informationsbasis für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, bei denen der hohe Realitätsgrad zur erhöhten Planungstransparenz und Glaubwürdigkeit führt (vgl. Sheppard 2005 in Stendel 2013; Mertens 2010; Wissen 2007 in Kapitel 2.1.2).

Doch auch für frühere Leistungsphasen soll eine Eignung dieser Methode nicht ganz ausgeschlossen werden. Zwar wurde im Vergleich zur händischen Modellierung in diesem Anwendungsbeispiel lediglich ein eingeschränkter kreativer Gestaltungsfreiraum festgestellt, jedoch können bei dem Abgleich mit aktuellen Visualisierungsergebnissen aus der Wettbewerbspraxis Tendenzen hin zur erfolgreichen Verwendung UAV-bildbasierter Visualisierungen im Wettbewerbsgeschäft verzeichnet werden.



Abbildung 30: Wettbewerbsperspektive 1 (Kessler Krämer Landschaftsarchitekten in Competitionline 2020)



Abbildung 31: Wettbewerbsperspektive 2 (Glück Landschaftsarchitektur in Competitionline 2020)



Abbildung 32: Wettbewerbsperspektive 3 (UKLandschaftsarchitektur in Competitionline 2020)

Die drei Abbildungen 30-32 zeigen unterschiedliche Visualisierungsergebnisse und Planungen auf Grundlage eines Drohnenbildes für den Neubau eines Hotels und eines Freizeitbades mit Kurmittelhaus in Wyk auf Föhr im Rahmen eines beschränkten Wettbewerbes. Diese Visualisierungsbeispiele werden angeführt, um zu verdeutlichen, welche gestalterischen Möglichkeiten sich mit Hilfe von künstlicher Bildnachbearbeitung auch in dieser Methode ergeben. Partielle farbliche Nachbe-

arbeitung, die Wahl des Ausschnittes und das Spiel mit Lichteffekten und Tiefenunschärfe ermöglichen ein breites Spektrum an möglichen Gestaltungsergebnissen der Visualisierungen auf UAV-Bilddatenbasis.

Die positiven Schlussfolgerungen über die UAV-Bilddatenverarbeitung für 3D-Visualisierungen dieser Methode lässt sich auch in der Literatur belegen: Nach KULLMANN kann beispielsweise durch die Benutzerfreundlichkeit der automatisierten Drohnennavigation, die Verbreitung der Vogelperspektive in der Landschaftsvisualisierung deutlich erhöht werden. Dieser schräge Winkel, der in der Landschaftsarchitektur immer eine herausragende Rolle spielte, erlebte bereits durch Anwendungen wie Google Earth erneut einen Aufschwung. Der Einsatz von Drohnen für die Landschaftsarchitektur-Visualisierung verstärkt diesen Prozess exponentiell. Durch die zyklische Anziehungskraft des Vogelauges kombiniert mit einem strukturellen Überblick über die geplante Landschaft, besitzt das Produkt aus Drohnenbild und 3D-Planung die Fähigkeit, das Eintauchen in die reale Landschaft einem allgemeinen Publikum zu vermitteln (KULLMANN 2017, S.136).

Die wichtigsten Vor- und Nachteile dieser Methode in Bezug auf eine mögliche Verwendung im Planungsprozess lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 14: Übersicht Vor- und Nachteile Methode 2

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Uneingeschränkte Eignungsempfehlung für fotorealistische Visualisierungsziele - Dadurch breites, mögliches Einsatzspektrum in LA - Keine interpretationsgesteuerte Verfälschung der tatsächlichen Umgebung - Sehr hoher Realitätsgrad weckt Glaubwürdigkeit und ermöglicht verbessertes Verständnis für Laien - Notwendige Kosten und Know-how für zusätzliche UAV-Hardware überschaubar und schnell zu amortisieren 	<ul style="list-style-type: none"> - Gegenüber Methode 1 zusätzlicher Hardware-Einsatz notwendig - Faktoren wie jahreszeitliche und wetterbedingte Situation haben bedingt Einfluss auf Visualisierungsergebnis

5.1.3 Photogrammetrische 3D-Umgebung (Methode 3)

Das photogrammetrisch generierte Umgebungsmodell weist sowohl in der Kategorie ‚gestalterische Qualität‘ spezifische, optische Defizite, als auch in der Kategorie ‚praktische Anwendbarkeit‘ wirtschaftliche Schwächen gegenüber den beiden anderen untersuchten Methoden auf. Sie erfüllt damit nicht die Anforderungen an eine gelungene 3D-Visualisierung.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse kann für diese Methode keine empfehlenswerte Verwendung für statische Visualisierungsergebnisse im Planungsprozess ausgesprochen werden, zumindest nicht für Visualisierungszwecke in diesem Maßstab.

Würde man beispielsweise den Ansatz dieser Methode auf kleinräumigere Planungen übertragen, müssten insgesamt weniger Luftaufnahmen zur Erfassung der Umgebung gemacht werden, was gleichzeitig weniger Bilder, also auch weniger Passpunkte und damit weniger Rechenleistung bedeutet. Dadurch können ggf. qualitativ hochwertigere Berechnungseinstellungen im Photogrammetrieprogramm vorgenommen werden, was sich ggf. positiv auf optische Ergebnisse auswirken kann. Ob der photogrammetrische Visualisierungsansatz für kleinere Projekte geeigneter ist, könnte beispielsweise in folgenden Forschungsansätzen untersucht werden.

In diesem Fall des Sportparks Duisburg erwies sich die zur Verfügung stehende Rechnerleistung jedoch als Begrenzung des möglichen Bearbeitungsbereiches und der möglichen Modellqualität (vgl. Kapitel 5.2.3). Die Frage, ob der jetzige technische Stand noch nicht für eine adäquate Visualisierungsgrundlage dieser Größenordnung ausreicht, sich jedoch in Zukunft durch verbesserte Filtereinstellungen im Photogrammetrie-Programm und damit verringerte Rechenleistung nachhaltige optische Verbesserungen einstellen, bleibt unbeantwortet.

Betrachtet man mögliche andere Einsatzfelder von photogrammetrisch generierten Umgebungsmodellen, wie z.B. Kubaturen- und Flächenvermessung (vgl. Kapitel 2.2.), erweist sich die Photogrammetrie auf UAV-Bilddatenbasis in dem breiten Feld der Landschaftsarchitektur generell als sinnvoll. Für statische Visualisierungsergebnisse, insbesondere im Vergleich zur deutlich besseren UAV-basierten Lösung der Methode 2, ist sie jedoch ungeeignet. Im Hinblick auf die Eignung zur Weiterverarbeitung in VR-Anwendungen sollte diese Methode jedoch nicht außer Acht gelassen werden. Dieser Ansatz soll als Ausblick in Kapitel 7 noch einmal kurz aufgegriffen werden.

Die wichtigsten Vor- und Nachteile dieser Methode in Bezug auf eine mögliche Verwendung im Planungsprozess lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 15: Übersicht Vor- und Nachteile Methode 3

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Weiterverwendbarkeit VR-Anwendungen (s. Kap. 7) - Zukünftiger technischer Fortschritt kann sich deutlich positiv auf kommende Photogrammetrie-Ergebnisse auswirken 	<ul style="list-style-type: none"> - Photogrammetrische Berechnungsfehler führen zu Verwirrungen beim Betrachter, dadurch Verlust der Realitäts-treue und Legitimität -> keine Empfehlung für Anwendung im Planungsprozess - Gegenüber Methode 1 zusätzlicher Hardware-Einsatz notwendig, benötigtes Know-how und zusätzlicher Zeitaufwand hoch - Viele schwer kalkulierbare Einflussfaktoren - Deutlich eingeschränkter Gestaltungsfreiraum und insg. hoher Zeitaufwand schließen Anwendung für Variantenentwicklung in früheren Leistungsphasen aus

5.1 Methodendiskussion

Im Anschluss an die Ergebnisdiskussion, sollen das verwendete Beispielprojekt, die Vorgehensweise der UAV-Befliegung, die Herangehensweise an die drei Visualisierungsmethoden sowie der zur Ergebnisbewertung dienende Kriterienkatalog noch einmal generell diskutiert werden.

5.1.1 Beispielprojekt

Die Planung der gewählten Sportanlage in Duisburg birgt keine relevanten Details, die nicht auch in 2D-Detailplänen dargestellt werden können oder Auswirkungen auf das Raumgefühl der Gesamtplanung haben. Dadurch lässt sich das Projekt in seiner Gesamtheit aus der Vogelperspektive heraus ohne Probleme verstehen. Eine Perspektiveinstellung auf Augenhöhe hätte die visuelle Vermittlung der Planung noch einmal ergänzt und ggf. Atmosphären aufgezeigt, hätte aber keine ausschlaggebende Relevanz für das Verständnis des Projektes gehabt. Die gewählte Visualisierungsmethode aus der Vogelperspektive kann daher als angemessen für das gewählte Beispiel Sportpark Duisburg-We-

dau bewertet werden, um an ihr verschiedene Vorgehensweisen mit oder ohne UAV-Bilddatenbasis gegenüberzustellen.

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass Sportplatzplanungen nur einen begrenzten Bereich der Landschaftsarchitektur insgesamt ausmachen, was bedeutet, dass die dargestellten Ergebnisse nicht auf alle Planungen im Bereich der Landschaft und der Freiraumplanung übertragen werden können. Im urbanen Bereich, insbesondere bei kleinteiligeren und detailreicheren Planungen und Umgebungsbereichen, müssten ggf. andere Visualisierungsmethoden herangezogen werden, bzw. hätten sich bei gleichen Visualisierungsmethoden sicher andere Ergebnisse erzielen lassen. Hier sind weitergehende Forschungsansätze auf Grundlage von UAV-Bilddaten empfehlenswert.

5.1.2 Vorgehensweise UAV-Befliegung

Die Auswahl der eingesetzten UAV wurde durch die zur Verfügung stehende Phantom 4 des Planungsbüros Geo3 begrenzt. Auf eine Gegenüberstellung von verschiedenen UAV-Systemen und deren Eignung zur Bilddatenaufnahme wurde aus zeitlichen Gründen verzichtet.

Die Wahl des jahreszeitlichen und wetterbedingten Zeitpunktes für die UAV-Befliegung spielt für die Erhebung der gewünschten Ergebnisse eine erhebliche Rolle (vgl. Kapitel 3.2.2). Der gewählte Zeitpunkt Ende April erwies sich hierzu als geeignet.

Einige Nachteile der durchgeführten UAV-Befliegung ergaben die spätere Weiterverarbeitung der Drohnenbilder und die folgende Bewertung der Visualisierungsergebnisse. Bei der Untersuchung der Photogrammetrie-basierten Visualisierungsergebnisse hat sich herausgestellt, dass fehlende oder zu wenige Schräg- oder Senkrechtaufnahmen erhebliche, negative Folgen auf die Optik des Umgebungsmodells haben. Was bei dem Befliegungstermin vergessen wurde aufzunehmen, kann nicht oder nur durch hohen Aufwand nachgeholt werden. Daher ist an dieser Stelle die Wichtigkeit einer sorgfältigen Vorplanung der Drohnenbefliegung noch einmal hervorzuheben. Außerdem ist eine Dokumentation der bereits abgeflogenen Schrägaufnahmen-Bereiche vor Ort zu empfehlen. In weiteren Forschungsansätzen könnte zusätzlich der Einsatz von automatisierten Tracking-Systemen für Drohnenbilddatenaufnahmen als Grundlage von Photogrammetrien untersucht werden und ob sich diese positiv auf das Visualisierungsergebnis auswirken.

5.1.3 Vorgehensweise der drei Methoden

Auf Grund der fehlenden Erkenntnisse in Bezug auf die Eignung der UAV-gestützten Bilddatenerfassung gegenüber herkömmlichen händischen Modellierungen für 3D-Visualisierungen, erweist sich der angewendete Methodenvergleich an einem Planungsbeispiel generell als sinnvoll. Durch die vorab durchgeführte Literaturrecherche über 3D-Visualisierungen und UAV-Einsatz in der Landschaftsarchitektur ergaben sich erste Erkenntnisse für die Durchführung der drei Methoden und darauf aufbauende definierte Qualitätsmerkmale, die im Zuge des Kriterienkataloges und der Ergebnisbewertung genauer untersucht und bekräftigt wurden.

Händische Umgebungsmodellierung

An dieser Stelle ist insbesondere der Umgang mit den 3D platzierten Baumobjekten kritisch zu hinterfragen. Die zur Verfügung stehenden Bäume im Contentbrowser des Programmes Cinema4D® stellen

eine gestalterische Einschränkung dar. Kostenpflichtige Plug-Ins für 3D-Visualisierungsprogramme wie z.B. Forestpack® hätten ggf. positive optische Auswirkungen auf Visualisierungsergebnisse gehabt.

2D Drohnenbild-Hintergrund

Wie bereits in 5.1.2 erwähnt, ist auch an dieser Stelle noch mal darauf hinzuweisen, dass umfangreiche Vorüberlegungen über den benötigten Blickwinkel und Bildausschnitt vor der geplanten Drohnenbefliegung unbedingt Grundvoraussetzung für eine einwandfreie Anwendung dieser Methode sind. Für spätere Visualisierungsergebnisse steht nur das aufgenommene Bildmaterial zur Verfügung. Spontane Änderungen des Bildausschnittes und des Blickwinkels können nur sehr eingeschränkt vorgenommen werden. Als Alternative zur durchgeführten Bildaufnahme-Methode wie in Kapitel 3.2.2. beschrieben, wären daher beispielsweise Rundum-Videoaufnahmen auf z.B. 3 unterschiedlichen Höhen anzudenken. Aus diesem könnten im Nachhinein die passenden Bildsequenzen gestoppt werden. Dabei ist jedoch die entstehende Datenmenge im Hinterkopf zu behalten.

Photogrammetrische 3D-Umgebung

In Bezug auf die Methode der photogrammetrisch generierten 3D-Umgebung ergaben sich im Rahmen dieser Arbeit verschiedene Einschränkungen.

Beispielsweise erwies sich die zur Verfügung stehende Rechnerleistung als Begrenzung des möglichen Bearbeitungsbereiches und der möglichen Modellqualität (vgl. Kapitel 5.2.3). Die benötigte Speicherkapazität ist vor allem bei den photogrammetrischen Prozessen für die Erzeugung einer dichten Punktwolke und eines Mesh's so hoch, dass enorme Zeitaufwendungen von bis zu mehreren Tagen entstehen können. Hinzu kommt eine Vielzahl an Kombinationsmöglichkeiten der Berechnungseinstellungen, die aus zeitlichen Gründen nicht vollumfänglich ausgetestet werden konnten. Auch auf eine Eignungsgegenüberstellung verschiedener Photogrammetrie-Programme wurde im Rahmen dieser Arbeit verzichtet. Hier liefern aktuelle Studien bereits einige Ergebnisansätze, das Potenzial für folgende Forschungsansätze bleibt jedoch noch sehr hoch (OLBERDING U. SCHMIK 2017 in Kapitel 2.2.3).

5.1.4 Kriterienkatalog

An dieser soll kurz die Herangehensweise der Kriterienkatalogs-Aufstellung als objektive Hilfe zur Bewertung von Visualisierungsergebnissen generell diskutiert werden. Kenngrößen für gestalterische Qualität sind generell schwer quantifizierbar. Auf der einen Seite steht eine komplexe Ethikdebatte (Sheppard 2001 in BISHOP UND LANGE 2005, S.79 f), in der Themen wie Vertrauenswürdigkeit und Repräsentativität eine Rolle spielen und auf der anderen Seite steht die einfache, durch subjektiven Empfindungen gesteuerte Frage: Gefällt die Visualisierung dem Betrachter oder nicht? Erfüllt sie die interessensweckende Funktion?

Instrumente wie die Ermittlung und Bewertung des Realitätsgrades und die Anpassung der Visualisierungsansprüche an Anlässe im Planungsablauf sind zwar wichtige Annäherungen zur Objektivität. Trotzdem muss an dieser Stelle noch einmal betont werden, dass eine Bewertung von gestalterischen Eigenschaften einer 3D-Visualisierung immer subjektiv behaftet bleibt. Visuelle Darstellungen sind zu einem großen Teil persönlicher Ausdruck und zeigt die individuellen Lösungsansätze der beteiligten Person. Auf der Seite des Empfängers schwingen ebenso subjektive Empfindungen und Stimmungen bei der Betrachtung der Visualisierung mit. Daher ist insgesamt eine objektive Bewertung einer Landschaftsarchitektur-Visualisierung mit Vorsicht zu genießen (Mertens 2010, S.10 f). Zusammenfassend sollte daher kritisch hinterfragt werden, ob die Art und die Anzahl der Bewertungskriterien ausreicht, um das breite Feld der Gestaltungsprinzipien abzudecken.

Außerdem wäre als Verbesserungsvorschlag zum Kriterienkatalog beispielsweise die Validierung der Visualisierungsergebnisse durch die Befragung sowohl von Experten als auch von Laien zu nennen. Dadurch hätte sich insgesamt ein deutlich objektiveres Bild über die erzielte Qualität der Visualisierungen ergeben, als die alleinige Bewertung durch die Visualisierungsverfasserin selbst. Eine solche intensive, wissenschaftlich auszuwertende Befragung hätte jedoch deutlich den Rahmen der Arbeit gesprengt.

6 FAZIT

Ziel der vorliegenden Arbeit war es in erster Linie zu untersuchen, in wie weit UAV-basierte Bilddaten die händische 3D-Modellierung für Visualisierungen aus der Vogelperspektive adäquat ersetzen können. Welche Vor- und Nachteile ergeben sich im gestalterischen und welche im technischen und wirtschaftlichen Hinblick? Hierzu wurde zunächst ein Überblick über die wichtigsten Aspekte von 3D-Visualisierungen gegeben und Anforderungen an diese, in Bezug auf unterschiedliche Planungsanlässe, erörtert. Auf dieser Grundlage wurden zwei UAV-Bilddaten basierte Visualisierungsmethoden der herkömmlichen händischen 3D-Modellierung gegenübergestellt, bewertet und für passende Planungsansätze empfohlen.

Meiner Meinung nach sprechen die Ergebnisse der Methode 2 eindeutig für die Nutzung von 2D-Drohnenbild-Hintergründen in landschaftsarchitektonischen Visualisierungen und lassen die händische Modellierung dagegen einfach nicht mehr zeitgemäß wirken, weder auf gestalterischer noch auf wirtschaftlich/ technischer Betrachtungsbasis. Das optische Einbetten der Planung in die reelle Umgebungsdarstellung, und der dadurch erzielte Grad der Realitätstreue der Visualisierung insgesamt, sind nicht mit einer händischen Modellierung (Methode 1) zu erreichen und wenn, dann nur mit einem immens hohen Zeit- und Kostenaufwand, der in keinem Verhältnis zu der UAV-Bilddaten basierten Methode 2 steht.

Hinsichtlich der Methode 3 denke ich, dass auch wenn der Einsatz von Photogrammetrien noch deutliches Entwicklungspotenzial für gestalterisch ansprechende 3D-Visualisierungen aufzeigt, macht auch dieser UAV basierte Ansatz trotzdem einen wichtigen Schritt in die richtige Richtung. Wenn man sich die technische Entwicklung im Bereich der 3D-Visualisierungen der letzten Jahre ansieht, ist zu erwarten, dass sich zeitnah auch die Landschafts-Photogrammetrie auf eine entsprechende Qualität technisch weiter entwickeln lässt.

Sollte sich nun ein Landschaftsarchitekturbüro oder ein anderweitiger Interessent die Frage stellen, ob die Anschaffung einer Drohne zur Unterstützung der Projekt-Visualisierung sinnvoll ist, so kann die Antwort meiner Meinung nach nur unbedingt ja lauten. Neben den aufgezeigten Methodenbeispielen sollten auch die weiteren Funktionen bedacht werden, die durch den Einsatz von UAV-Bilddaten den Büroalltag maßgeblich vereinfachen. Die Dokumentation des Bestandes, der Bauphase oder der Fertigstellung aus der Luft sowie und marketingfähige Foto- und Videoaufnahmen, um nur eine Auswahl an Möglichkeiten zu nennen. Sogar für die traditionelle „Handzeichner-Generation“ der Landschaftsarchitekten birgt ein ausgedrucktes Drohnenbild mit Hilfe des guten, alten Transparentpapiers vielfältige gestalterische Möglichkeiten.

Kurz gesagt: JA zur Drohne in der Landschaftsarchitektur(-Visualisierung)!

7 AUSBLICK

Abschließend sollte noch einmal der Blick auf die aktuelle und zukünftige Entwicklung von 3D-Visualisierungen gerichtet werden. Die aufgezeigten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind auf das Visualisierungs-Produkt einer statischen Abbildung der überplanten Realität limitiert. Dadurch wird zwar der 6. Grundsatz für 3D-Visualisierungen nach Sheppard (2001 in Bishop u. Lange 2005, S.85 f) gewahrt, dass Visualisierungen der Öffentlichkeit über einfache Formate und Kommunikationskanäle leicht zugänglich gemacht werden sollten. Dadurch behält die statische Visualisierung immer eine grundlegende Legitimität, da sie, beispielsweise in Papierform, die einfachste Form der möglichen Medienwahl darstellt.

Vor dem Hintergrund der steigenden Relevanz von partizipativen Planungsprozessen und der damit einhergehenden Dynamisierung der Visualisierungstechniken, wird zukünftig jedoch die Bedeutung von dreidimensionalen Modellen in Form von dynamischen AR und VR-Anwendungen stetig steigen. Interaktive 3D-Modelle über VR-Brillen erhöhen die Immersivität und den Nutzen der Visualisierung für die Kommunikation zwischen Planern und Laien noch mal erheblich gegenüber statischen Bildern (Goudarznia et al. 2017, S.248). In verschiedenen Studien wurde belegt, dass eine hohe Bereitschaft der Teilnehmer besteht, AR/VR-Anwendungen als Kommunikationsmittel im Rahmen des partizipativen Prozesses zu nutzen (EBD.). Doch nicht nur in der Partizipation und für die spätere Präsentation und eines Projektes birgt die dreidimensionale VR-Anwendung zukunftsfähiges Potenzial. Aktuelle Studien belegen, dass immersive VR/AR, über die reine Entwurfsprüfung hinaus, Möglichkeit bietet, von Beginn des Designprozesses an in 3D zu entwerfen, ohne von künstlichen Filtern der Realität belastet zu werden (vgl. GEORGE ET AL. 2017, S.258). AR oder „Augmented Reality“ bedeutet hierbei wörtlich übersetzt „Erweiterte Realität“ und beschreibt die Verschmelzung der real erfassten Bilder oder Situationen mit digitalen oder zusätzlichen Elementen, Funktionen (Portman et al. 2015, S. 377). Virtual Reality (VR) beschreibt dagegen eine computergenerierte Umgebung mit der ein Nutzer mit Hilfe von VR-Brillen in Echtzeit interagieren kann (EBD.).

Für genau diese computergenerierten 3D-Umgebungen wurde im Rahmen der Ergebnisbewertung in Kapitel 4 dieser Arbeit eine generelle Eignung der Methoden 1 und 3 festgestellt. Anders als die Methode 2, ermöglichen diese das freie Bewegen in der 3D-Umgebung, ohne dass sich Planung und Umgebung optisch voneinander lösen.

Im Falle des Sportparks Duisburg Wedau, wäre mit einer solchen VR-Anwendung eine völlig andere Präsentation des geplanten Projektes möglich. Ob Bauherr, Bürger oder zukünftige Nutzer der Anlage; sie könnten sich mit Hilfe einer VR-Brille aktiv in der simulierten Planung, inklusive ihrer angrenzenden simulierten Umgebung, bewegen, ohne tatsächlich vor Ort sein zu müssen.

Verschiedene Studien zeigen jedoch, dass der Grad der Immersivität dieser VR-Anwendungen stark von Realitätstreue des Umgebungsmodells abhängt. Ziel der Forschung und Entwicklung sollte es daher in den nächsten Jahren sein, den erreichten Realitätsgrad von Methode 2 für statische Visualisierungsergebnisse, auf dynamische Visualisierungen zu übertragen. Vor diesem Hintergrund wird in zukünftigen Planungsprozessen immer häufiger die Frage aufkommen, ob sich dieses Ziel besser auf Grundlage einer händischen Modellierung (Methode 1) oder mit Hilfe einer, auf realen Bestandsbildern basierenden, Photogrammetrie (Methode 3) umsetzen lassen wird.

Diesbezüglich zeigen aktuelle Forschungsergebnisse (Gill u. Lange 2015, S.361; Goudarznia et al. 2017, S.249) sowie Beispiele aus der angewandten Praxis, dass die Herangehensweise der

händisch modellierten 3D-Umgebung (Methode 1) über die letzten Jahre deutlich wahrnehmbare Fortschritte im Bereich des Realitätsgrades zeigt. Jedoch wird vor allem die Darstellung von Vegetation vermutlich nie ganz einer real wirkenden Abbildung entsprechen, sondern immer nur eine Annäherung an diese bleiben.

Durch die Verwendung realer Orthophotos zur Modellierung und Texturierung der 3D-Umwelt birgt die Photogrammetrie der Methode 3 dagegen deutlich größeres Potenzial im Hinblick auf kommende technologische Entwicklung. Zwar zeigen die Visualisierungsergebnisse dieser Arbeit, bedingt durch die begrenzte, zur Verfügung stehende Rechnerleistung, noch einige Schwachstellen in der generierten Modelloberfläche, jedoch kann sich dies in Zukunft durch die Steigerung der möglichen Rechenkapazität sowie durch die Vereinfachung und Verbesserung der Berechnungsvorgänge im Photogrammetrie-Programm beheben lassen.

Dann wird der Schwerpunkt zukünftigen Forschungsfragen vermutlich lauten: Wie kann die photogrammetrisch erzeugte Abbildung der realen Bestandsumgebung in Zukunft aktive Planungs- und Designschritte sowie Partizipationsprozesse in VR-Anwendungen unterstützen?

Für einen tatsächlichen Gebrauch dieser VR-Anwendungen, sollte nicht nur an der Software Technologie an sich, sondern auch an der praktischen Verbreitung und Vermittlung der notwendigen Kenntnisse dieser gearbeitet werden. Hierzu zeigen insbesondere die Erkenntnisse von Kersten et al. (2015), dass durch die Integration von praktischen Projekten in Lehrveranstaltungen der Bachelor- und Masterstudiengänge, eine erhöhte Motivation und Lernbereitschaft der Studierenden für dieses Thema besteht. So kann die Brücke der kommenden Landschaftsarchitekten-Generation hin zur aktiven und erfolgreichen 3D-Nutzung gebaut werden (Kersten et al. 2015, S. 1).

Zusammenfassend lässt sich prognostizieren, dass sich durch das Zusammenspiel von digitaler Planung und Innovation sowie neuer Hardware und verbundener Dienste durch Drohnen und VR in Zukunft spannende neue Herausforderungen und Möglichkeiten öffnen. Insbesondere die Photogrammetrie hat das Potenzial, den gewünschten Realitätsgrad der 3D-Umgebung zukünftig für VR-Anwendungen zu ermöglichen.

8 Literaturverzeichnis

- AGISOFT LLC** (2019): Metashape - Intelligent photogrammetry. Online verfügbar unter https://www.agisoft.com/pdf/metashape_presentation.pdf, zuletzt geprüft am 24.03.2020.
- ALEXANDER**, Kerstin (2013): Kompendium der visuellen Information und Kommunikation. 2., überarb. u. erw. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- BISHOP**, Ian D.; **LANGE**, Eckart (2005): Visualization in landscape and environmental planning. Technology and applications. 1. Auflage. London, New York: Taylor & Francis Group.
- BMVI** Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020): Drohnen. die wichtigsten Regeln im Überblick. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/LF/flyer-die-neue-drohnen-verordnung.html>, zuletzt geprüft am 21.06.2020.
- BVCP** Bundesverband Copter Piloten (2016): Testbericht: DJI Phantom 4. Online verfügbar unter <https://bvcp.de/multicopter-news/tests-produktvorstellungen/testbericht-dji-phantom-4/>, zuletzt geprüft am 14.06.2020.
- CLEES**, Christian (2020): Anwendungsgebiete UAV Drohne. Online verfügbar unter <http://www.multicopter.cc/>, zuletzt geprüft am 14.07.2020.
- CURETON**, Paul (2017): Strategies for landscape representation. Digital and analogue techniques. 1. Auflage. London, New York: Routledge Taylor & Francis Group.
- CURETON**, Paul (2019): Future of drones in landscape architecture. In: BIMtoday. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/332672214_Future_of_drones_in_landscape_architecture_BIM_Today_March_2019, zuletzt geprüft am 14.07.2020.
- DJI** (2020): Phantom 4. Technische Daten. Online verfügbar unter <https://www.dji.com/de/phantom-4/info#downloads>, zuletzt geprüft am 14.04.2020.
- GEO3 GMBH** (2020): Entwurfsplanung Sportpark Duisburg Wedau.
- GEORGE**, Benjamin H.; **SLEIPNESS**, Ole R.; **QUEBBEMANN**, Andrew (2017): Using Virtual Reality as a Design Input. Impacts on Collaboration in a University Design Studio Setting. In: Erich Buhmann (Hg.): Journal of Digital Landscape Architecture, 2-2017. Berlin, Offenbach, S. 252–258.
- GILL**, Lewis; **LANGE**, Eckart (2015): Getting virtual 3D landscapes out of the lab. In: Computers, Environment and Urban Systems (54-2015), S. 356–362.
- GLATTHARD**, Thomas (2017): Virtual Reality als Medium der Bürgerbeteiligung. In: SIA Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein (TEC21 7–8/2017), S. 20–21. Online verfügbar unter <https://www.sia.ch/de/dienstleistungen/artikelbeitraege/detail/article/virtual-reality-als-medium-der-buergerbeteiligung/>, zuletzt geprüft am 07.04.2020.

-
- GOUDARZANIA**, Toomaj; **PIETSCH**, Matthias; **KRUG**, René (2017): Testing the Effectiveness of Augmented Reality in the Public Participation Process. A Case Study in the City of Bernburg. In: Erich Buhmann (Hg.): Journal of Digital Landscape Architecture, 2-2017. Berlin, Offenbach, S. 244–251.
- GRAHLMANN**, Björn; **KERSTEN**, Thomas; **MATTHIAS**, Ekkehard: Bestandsdatenerfassung durch UAV-basierte Bildflüge am Beispiel einer Straßenkreuzung. 19. Oldenburger 3D-Tage. Institut für angewandte Photogrammetrie und Informatik. Oldenburg. Online verfügbar unter https://www.conftool.net/oldenburger-3d-tage/index.php?page=browseSessions&form_session=13, zuletzt geprüft am 25.03.2020.
- GÜNTHNER**, Willibald; **BORRMANN**, André (Hg.) (2011): Digitale Baustelle- innovativer Planen, effizienter Ausführen. Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- HEIPKE**, Christian (Hg.) (2017): Photogrammetrie und Fernerkundung. Handbuch der Geodäsie, herausgegeben von Willi Freeden und Reiner Rummel. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg (Springer Reference Naturwissenschaften).
- HILLER**, Stefan; **COLDITZ**, Carsten; **DEUSSEN**, Oliver (2003): Spezifikation und Echtzeitvisualisierung von Vegetation und Landschaften. In: Proceedings der Tagung „Simulation und Visualisierung 2003“ am Institut für Simulation und Graphik der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, S.115-128. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bs->, zuletzt geprüft am 25.06.2020.
- KERSTEN**, Thomas; **LINDSTAEDT**, Maren; **MAZIULL**, Lena; **SCHREYER**, Kristin; **TSCHIRSCHWITZ**, Felix; **HOLM**, Knut (2015): 3D-Erfassung, Modellierung und Visualisierung der Festungsanlage Kristiansten in Trondheim durch Photogrammetrie und terrestrisches Laserscanning im Rahmen von ERASMUS-Programmen. In: DGPF Tagungsband (24/2015), S. 78–89.
- KERSTEN**, Thomas; **LINDSTAEDT**, Maren; **MECHELKE**, Klaus; **TSCHIRSCHWITZ**, Felix (2019): UAV-gestützte Bildflüge für das photogrammetrische Monitoring einer Bühne und einer Steilküste. In: Thomas Luhmann und Christina Schumacher (Hg.): Photogrammetrie-Laserscanning Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2017: Wichmann - VDE Verlag, S. 222–235.
- KRÖNIGER**, Birgit; **RÜMPELEIN**, Jochen; **WENK**, Robert (2020): Profil Ver.de Landschaftsarchitekten Stadtplaner. Innovation im Dialog. Online verfügbar unter <https://www.verde.land/profil/>, zuletzt geprüft am 12.05.2020.
- KULLMANN**, Karl (2017): High Fidelity: Drone Mapping Fills a Missing Link in Site Representation. In: Landscape Architecture Magazine (107), S. 132-139.
- LEITNER**, Bernd; **HESINA**, Gerd; **BRIMMER**, Friedrich (2011): Zusammenführung und interaktive Analyse von hochauflösenden 3D Geodaten. In: Proceedings of the Symposium und Fachmesse für Angewandte Geoinformatik (Agit 2011), S. 56–65. Online verfügbar unter <https://gispoint.de/gisopen-paper/759-zusammenfuehrung-und-interaktive-analyse-von-hochaufloesenden-3d-geodaten.html>, zuletzt geprüft am 27.07.2020.

-
- MAAS**, Hans-Gerd (1997): Mehrbildtechniken in der digitalen Photogrammetrie. Habilitationsschrift. Eidg. Technischen Hochschule Zürich, Zürich. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie. Online verfügbar unter <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/143364>, zuletzt geprüft am 30.07.2020.
- MAAS**, Hans-Gerd (2005): Werkzeuge und Anwendungen der photogrammetrischen 3D-Bewegungsanalyse. In: Thomas Luhmann und Christina Schumacher (Hg.): Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2005: Wichmann - VDE Verlag, S. 2–12. Online verfügbar unter https://tu-dresden.de/bu/umwelt/geo/ipf/photogrammetrie/ressourcen/dateien/forschung/publikationen/pubdocs/2005/2005_Maas_Old3D2005.pdf?lang=de, zuletzt geprüft am 30.07.2020.
- MACH**, Rüdiger; **PETSCHEK**, Peter (2006): Visualisierung digitaler Gelände- und Landschaftsdaten. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=324788>, zuletzt geprüft am 27.06.2020.
- MÄCHLER**, Michael (2013): Interaktive 3D-Landschaftsvisualisierung mittels Computer-Games. Masterarbeit. ZHAW Zürich, Zürich.
- MAXON COMPUTER** (2020): Warum Cinema4D? Online verfügbar unter <https://www.maxon.net/de/produkte/cinema-4d/cinema-4d/>, zuletzt geprüft am 13.04.2020.
- MERTENS**, Elke (2010): Landschaftsarchitektur visualisieren. Funktionen, Konzepte, Strategien. 1. Aufl. Basel: Birkhäuser Verlag AG.
- MÜLDER**, Jochen (2018): Perspektive aus der Praxis: ‚Spannungsfeld Abstraktion und Interaktion‘. Methoden visueller Kommunikation in der räumlichen Planung. Universität Kassel Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung. Kassel, 15.02.2018.
- NIQUILLE**, C. Simone (2018): Was will die grafische Benutzeroberfläche? In: Arch+ Zeitschrift für Architektur und Urbanismus (233), S. 98–101.
- NOTH**, Vanessa (2012): 3D-Visualisierung auf Grundlage von Punktwolken am Beispiel der Altstadt Wangen im Allgäu. Bachelorarbeit. Hochschule Bochum. Fachbereich Vermessung und Geoinformatik. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/11037425-3d-visualisierung-auf-grundlage-von-punktwolken-am-beispiel-der-altstadt-wangen-im-allgaeu.html>, zuletzt geprüft am 12.05.2020.
- OLBERDING**, Helge; **SCHMIK**, Jurij (2017): Qualitätsuntersuchung photogrammetrischer Matchingverfahren mit Schrägluftbildern. 16. Oldenburger 3D-Tage. Institut für angewandte Photogrammetrie und Informatik. Oldenburg, 2017.
- PIX4D** (2019): What is accuracy in an aerial mapping project? Online verfügbar unter <https://www.pix4d.com/blog/accuracy-aerial-mapping>, zuletzt aktualisiert am 14.04.2020.
- PLANK**, Claus; **STOCKBAUER**, Wolfgang; **HIRZINGER**, Gerd; **STRACKENBROCK**, Bernhard (2011): Digitales Geländemodell – moderne Methoden der Erfassung und Verarbeitung. In: Willibald

Günthner und André Borrmann (Hg.): Digitale Baustelle- innovativer Planen, effizienter Ausführen. Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 43–59.

POMASKA, Günter (2002): Internetpräsentation von Bauprojekten. Leitfaden und Arbeitsbuch für Architekten und Ingenieure. 1. Aufl. Berlin: Bauwerk Verlag GmbH.

PORTMAN, M. E.; **NATAPOV**, A.; **FISHER-GEWIRTZMAN**, D. (2015): To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. In: Computers, Environment and Urban Systems 54, S. 376–384. DOI: 10.1016/j.compenvurb-sys.2015.05.001.

PRZYBILLA, Heinz-Jürgen; **LINDSTAEDT**, Maren; **KERSTEN**, Thomas (2019): Untersuchungen zur Qualität bildbasierter Punktwolken aus UAV-Bildflügen. In: Thomas Luhmann und Christina Schumacher (Hg.): Photogrammetrie-Laserscanning Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2017, Oldenburger 3D-Tage 2019: Wichmann - VDE Verlag, S. 236–349. Online verfügbar unter https://www.jade-hs.de/fileadmin/forschung/images/3D-Tage/Tagungsband/ivz_2019.pdf, zuletzt geprüft am 26.03.2020.

REINWALD, Florian; **SCHOBER**, Christian; **DAMYANOVIC**, Doris (2013): From Plan to Augmented Reality. Workflow for Successful Implementation of AR Solutions in Planning and Participation Processes. In: REAL CORP 2013 Tagungsband, S. 339–348.

SEIFERT, Stefan (2009): Modellierung und Visualisierung des Waldwachstums auf Landschaftsebene. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen. Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie.

SOFTWARE3D (2018): Wie nutze ich Agisoft Photoscan am Besten? Youtube.com. Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=azZazftoLoM>, zuletzt geprüft am 05.05.2020.

SONDERMANN, Horst (2009): Licht Schatten Raum · Architekturvisualisierung mit Cinema4D®. Global Illumination in Cinema4D® V11. 2., aktualisierte Auflage. Wien: Springer-Verlag Wien.

STADT DUISBURG (2020): Wohnen und Leben. Online verfügbar unter <https://www.duisburg.de/wohnenleben/index.php>, zuletzt geprüft am 09.04.2020.

STATISTA GMBH (2015): Umsatz mit CAD-Software weltweit in den Jahren 2009-2014. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/428510/umfrage/umsatz-mit-cad-software-weltweit/>, zuletzt geprüft am 30.03.2020.

STATISTA GMBH (2017): Prognose zum Marktvolumen von Grafiksoftware im Marktsegment Modelling und Animation von 2013-2020. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/161693/umfrage/marktvolumen-fuer-modeling-and-animation-grafik-software/>, zuletzt geprüft am 30.03.2020.

STATISTA GMBH (2019): Prognose der Nachfrageentwicklung auf dem Markt für private und kommerziell genutzte Drohnen in Deutschland im Zeitraum der Jahre 2015 bis 2030. Online verfü-

bar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/972655/umfrage/prognose-der-entwicklung-der-nachfrage-auf-dem-drohnenmarkt-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 27.03.2020.

- STEMMLER**, Simon; **REITERER**, Alexander (2019): Hochpräzises Laserscanning aus der Luft. - leichtgewichtige Sensortechnologie eröffnet neue Anwendungsgebiete durch die Fusion von 3D-LiDAR-Daten und 2D-Bilddaten. In: Thomas Luhmann und Christina Schumacher (Hg.): Photogrammetrie-Laserscanning Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2017: Wichmann - VDE Verlag, S. 214–221.
- STENDEL**, Dirk (2013): Die neue Räumlichkeit - Visualisieren mit Linsenrastern und Papier. Beiträge zu autostereoskopisch präsentierten Planungen am Beispiel der Landschaftsarchitektur. Dissertation. Technische Universität, Berlin.
- SÜHS**, Konrad (2015): Freizeit, Bestzeit, Auszeit. Meine Zeit im Sportpark Duisburg. Broschüre, 2. Auflage. Hg. v. Interessengemeinschaft der kommerziellen Anbieter im Sportpark Duisburg, vertreten durch Konrad Sühs. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/29023499-Auflage-freizeit-bestzeit-auszeit-meine-zeit-im-sportpark-duisburg.html>, zuletzt geprüft am 03.08.2020.
- TECHOPEDIA GROUP** (o.J.): Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Online verfügbar unter <https://www.techopedia.com/definition/29896/unmanned-aerial-vehicle-uav>, zuletzt geprüft am 25.03.2020.
- TIEPOLT**, Lars; **KITTEL**, Oskar (2014): Laserscanaufnahmen durch Einsatz von Drohnen (UAV) zur Aufnahme von Küstengebieten und Entwicklung von teilautomatischen Softwareverfahren bei der Luftbildauswertung aus UAV Befliegungen. Schlussbericht. Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg, Rostock.
- UNGER**, Lukas; **KNOPF**, Philipp; **MONETTI**, David (2017): Praxis der Datenerfassung mit Drohnen für GIS und Vermessung. In: REAL CORP Tagungsband 2017, S. 717–722.
- WISSEN**, Ulrike (2007): Virtuelle Landschaften zur partizipativen Planung: Optimierung von 3D Landschaftsvisualisierungen zur Informationsvermittlung bei der partizipativen Planung von integrativen Landschaftsentwicklungskonzepten. Dissertation. ETH Zurich. Institut für Raum- und Landschaftsentwicklung.

9 Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift

10 Anhang

- Bestandsdrohnenbilder DJI_1348 und DJI_1332
- Visualisierungsergebnisse groß (A3 Format):
 - Methode 1 Perspektive 1
 - Methode 1 Perspektive 2
 - Methode 2 Perspektive 1
 - Methode 2 Perspektive 2
 - Methode 3 Perspektive 1
 - Methode 3 Perspektive 2

ANHÄNGE BEI DIGITALER ABGABE

- 00_.pdf Datei Bachelorarbeit Gesamt_Carolin Kemkes
- 01_UAV-Bildaufnahmen 25.04.20 Gesamt als Grundlage für 2D-Hintergrundbild Methode 2
- 02_UAV-Bildaufnahmen 25.04.20 Gesamt als Grundlage für Photogrammetrie Methode 3
- 03_.psx Dateiordner (Metashape®) Photogrammetrie inkl. der .3ds Datei und jpg. Texturdatei
- 04_.c4d Dateien (Cinema4D®) 3D-Szene Methode 1
- 05_.c4d Dateien (Cinema4D®) 3D-Szene Methode 2
- 06_.c4d Dateien (Cinema4D®) 3D-Szene Methode 3
- 07_.psd Datei (Photoshop®) Methode 2_Perspektive 1
- 08_.psd Datei (Photoshop®) Methode 2_Perspektive 2
- 09_.vw Datei (Vektorworks®) Methode 1 Umgebung
- 10_.vw Datei (Vektorworks®) Planung_ Grundlage für alle Methoden
- 11_Visualisierungsergebnis Methode 1_Perspektive 1
- 12_Visualisierungsergebnis Methode 1_Perspektive 2
- 13_Visualisierungsergebnis Methode 2_Perspektive 1
- 14_Visualisierungsergebnis Methode 2_Perspektive 2
- 15_Visualisierungsergebnis Methode 3_Perspektive 1
- 16_Visualisierungsergebnis Methode 3_Perspektive 2



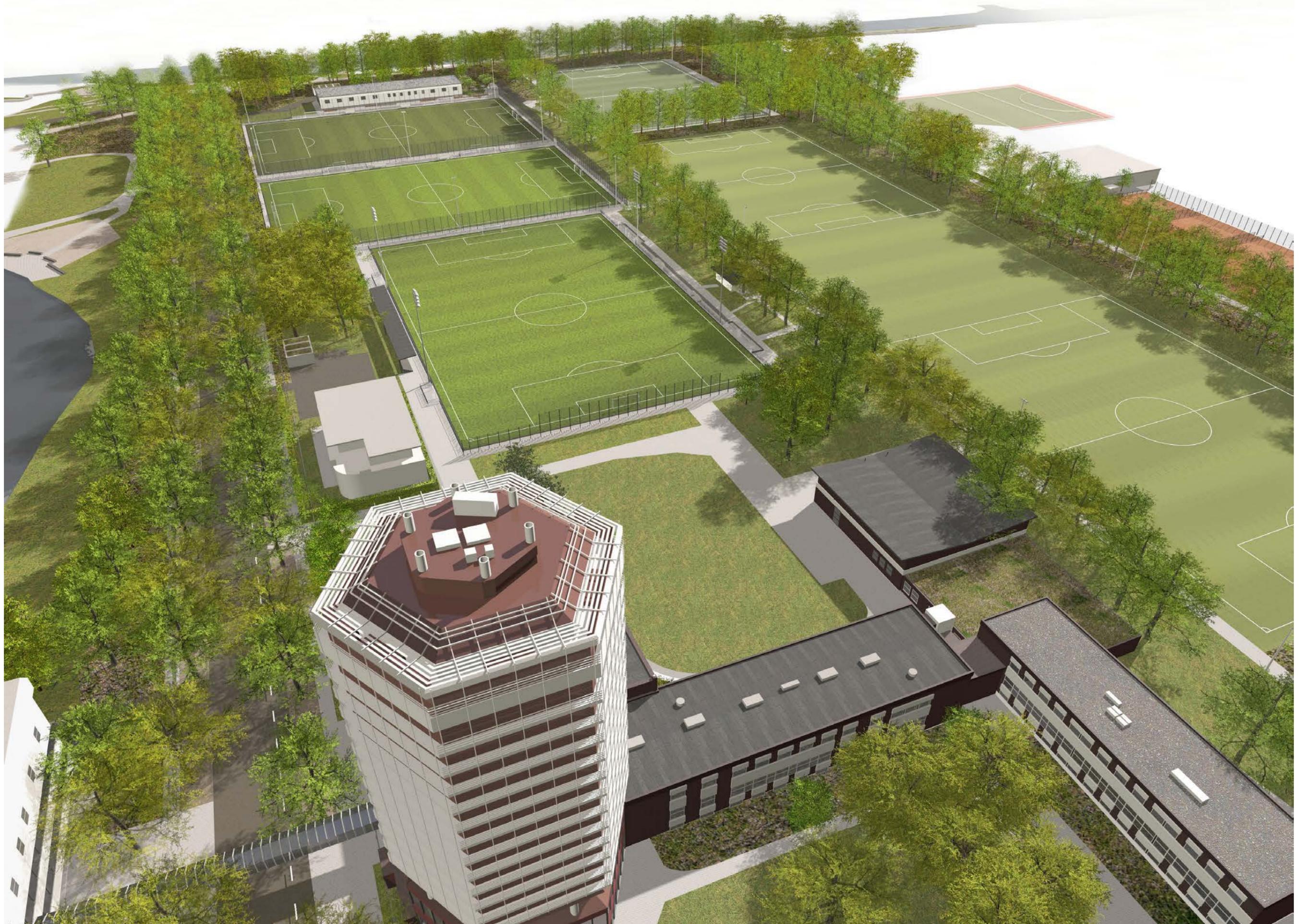
Drohnenbild Bestand DJI_1348



Drohnenbild Bestand DJI_1332



Visualisierungsergebnis Methode 1_Perspektive 1



Visualisierungsergebnis Methode 1_Perspektive 2



Visualisierungsergebnis Methode 2_Perspektive 1



Visualisierungsergebnis Methode 2_Perspektive 2



Visualisierungsergebnis Methode 3_Perspektive 1



Visualisierungsergebnis Methode 3_Perspektive 2