

AUTOMOTIVE



INFOKOM



MOBILITÄT, ENERGIE &
UMWELT



LUFTFAHRT



RAUMFAHRT



VERTEIDIGUNG &
SICHERHEIT

Modellbasierte Entwicklung von Flugführungsalgorithmen für unbemannte Hubschrauber

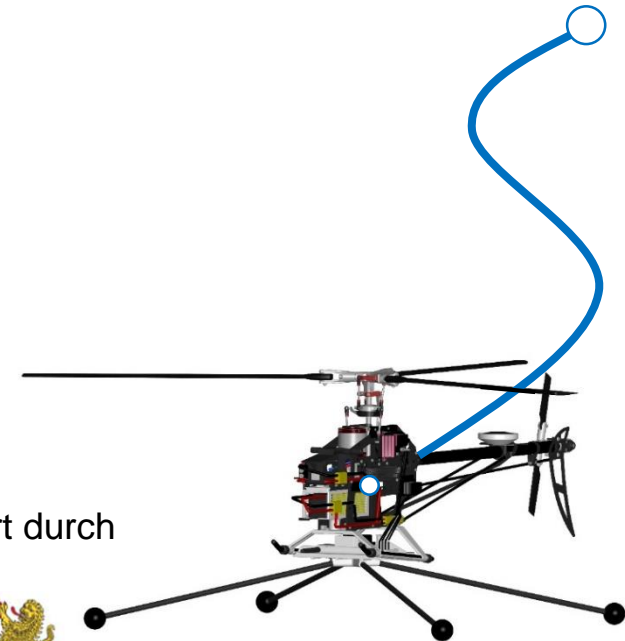
Roland M. Leitner – IABG mbH

München, 2019-07-02

Gefördert durch



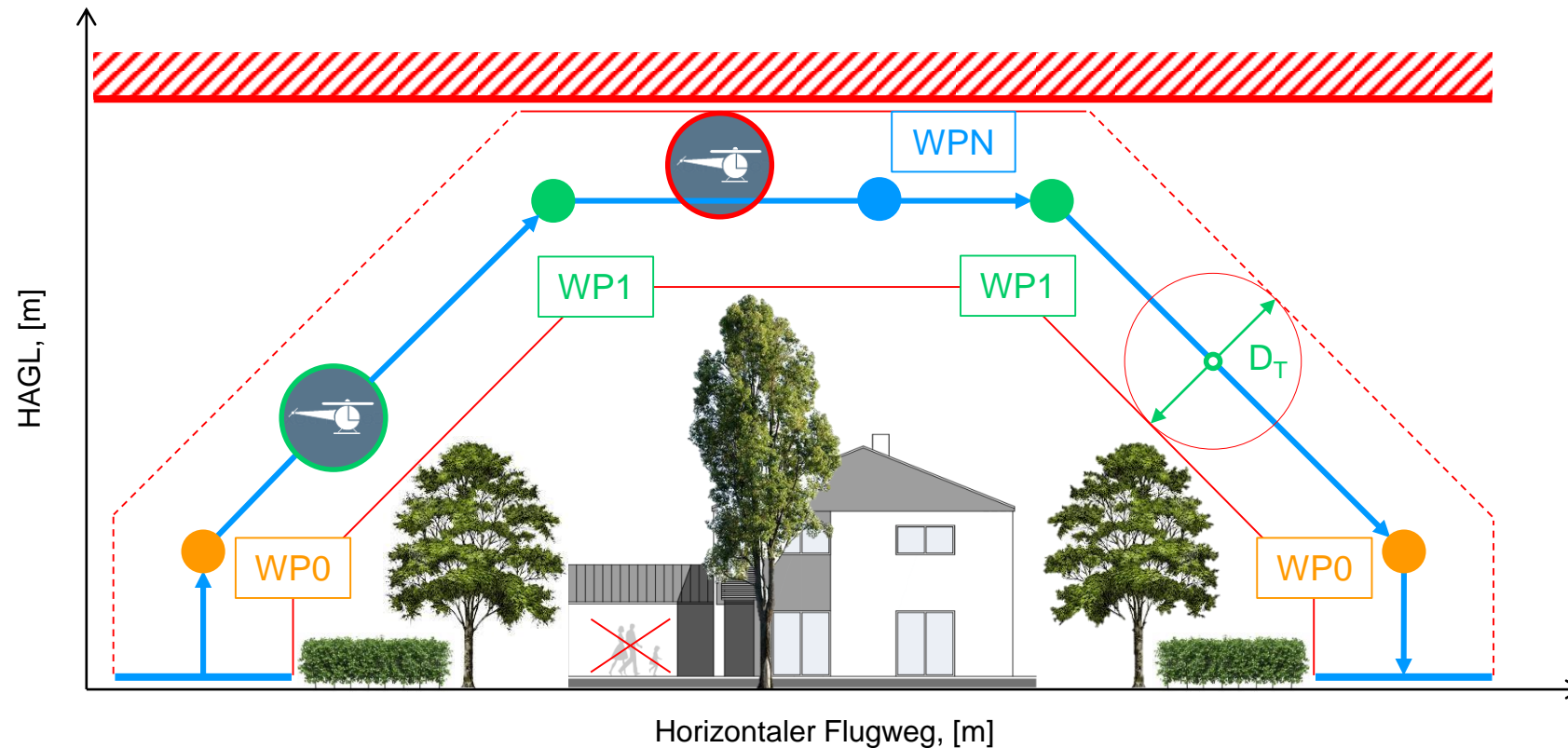
Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie



Agenda

1. Einführung	3
2. Betriebsarten	4
3. Versuchsumgebung	5
– Ein- und Ausgabe	
– Echtzeitrechner	
– Referenzkonfiguration	
– Simulationsmodell	
4. Flugführungsalgorithmen	10
5. Fallbeispiel	15
6. Zusammenfassung	22

1. Einführung



Der Pilot kann zwischen den Betriebsarten manuellem und vollautomatischem Flug wählen. Bei letzterem hat er selbst nur noch überwachende Funktion.

Brockhaus: Flugregelung

2. Betriebsarten

Betriebsart I: Agiles Fliegen

Kommandos Roll, Nick, Gierrate und Vertikalgeschwindigkeit

Betriebsart II: Wegpunkt

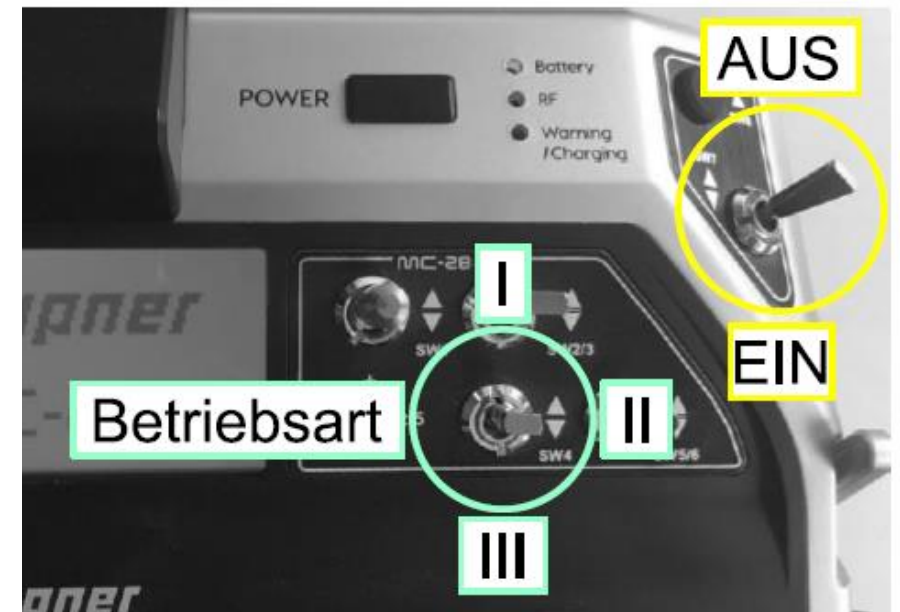
Kommandos longitudinale und laterale Geschwindigkeit,

Gierrate und Vertikalgeschwindigkeit

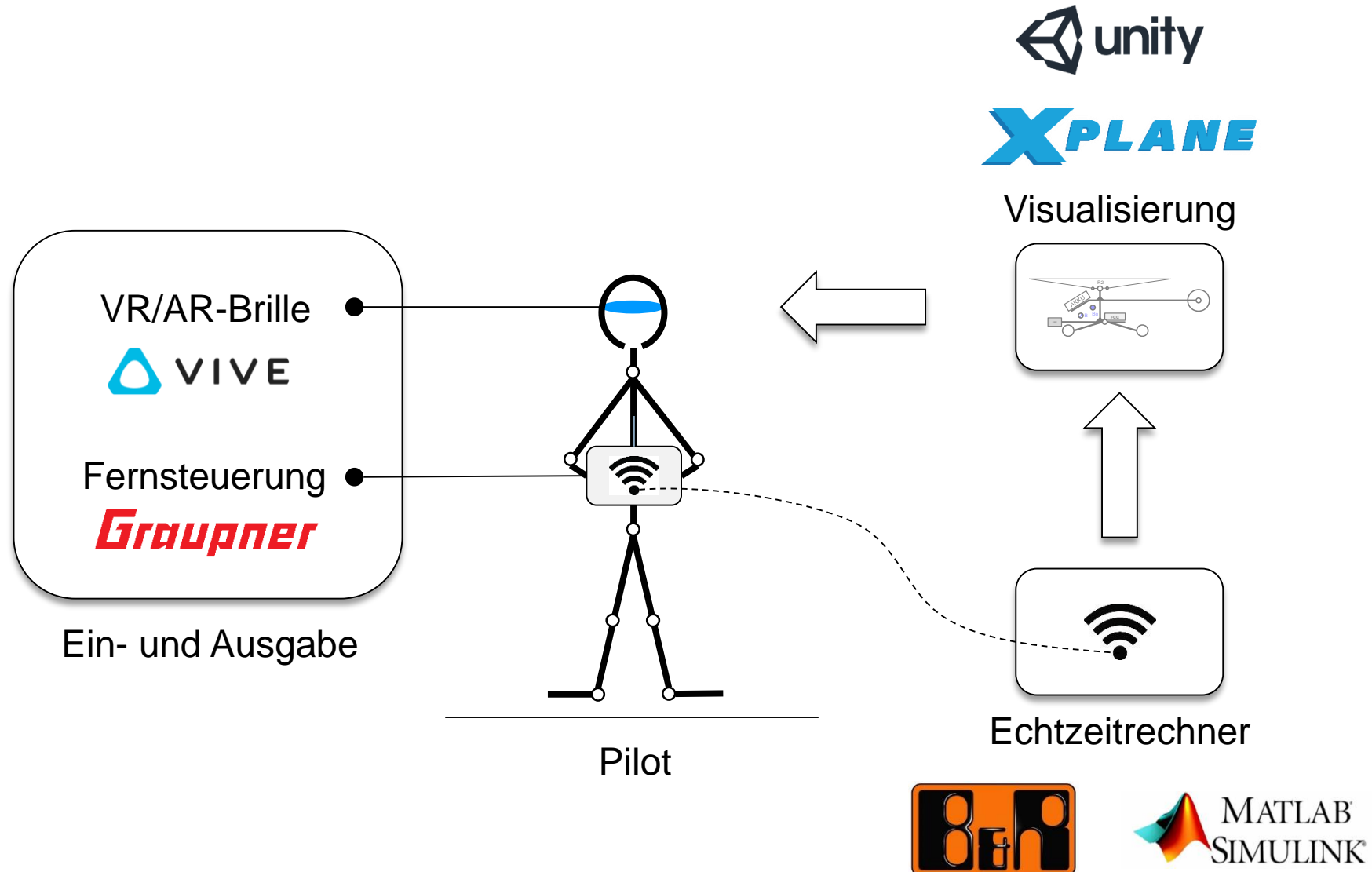
Betriebsart III: Flugbahn

Kommando longitudinale Geschwindigkeit

Der Wechsel von einer Betriebsart zur anderen
muss fließend sein. → Modellbasierte Entwicklung!



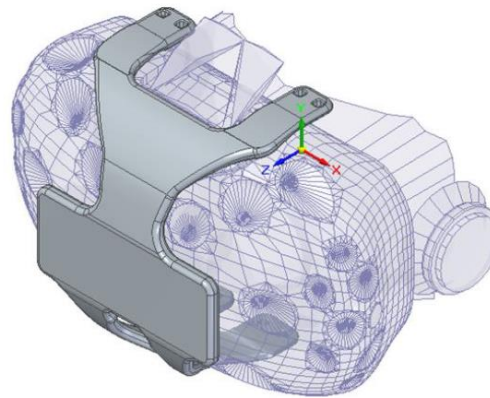
3. Versuchsumgebung



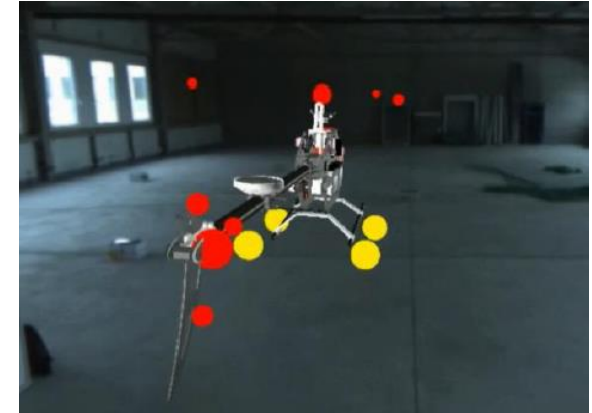
3. Versuchsumgebung – Ein- und Ausgabe



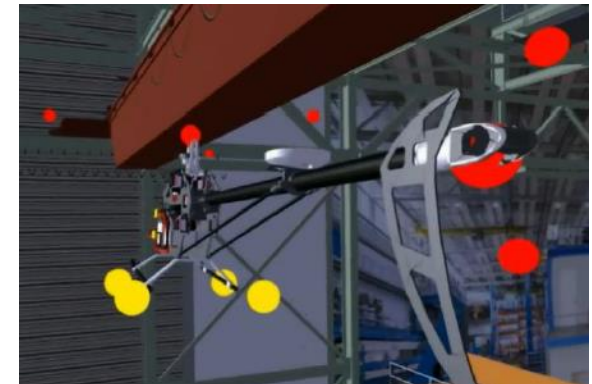
Pilot mit
Fernsteuerung



VR-/AR-Brille



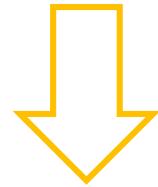
Augmented-Reality



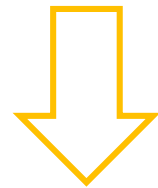
Virtual-Reality

3. Versuchsumgebung – Echtzeitrechner

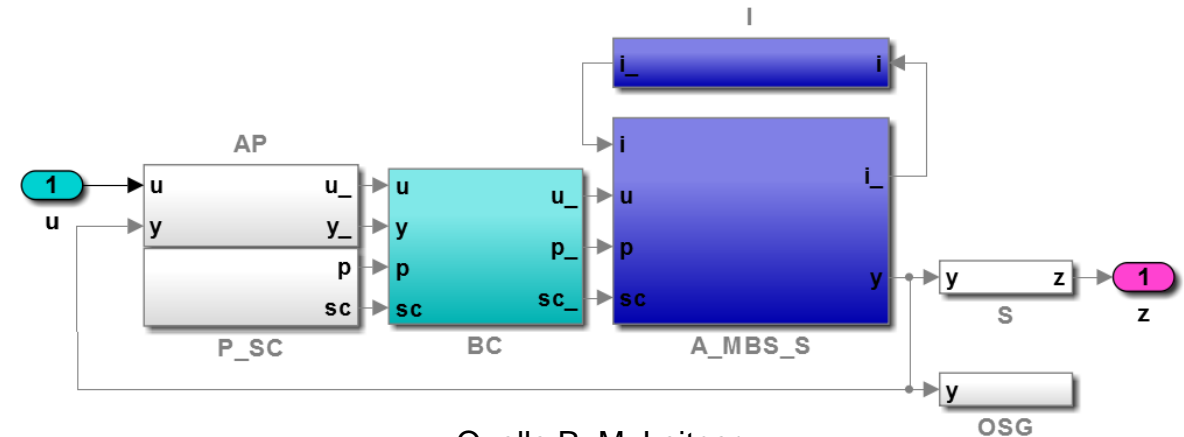
Simulink® Modell



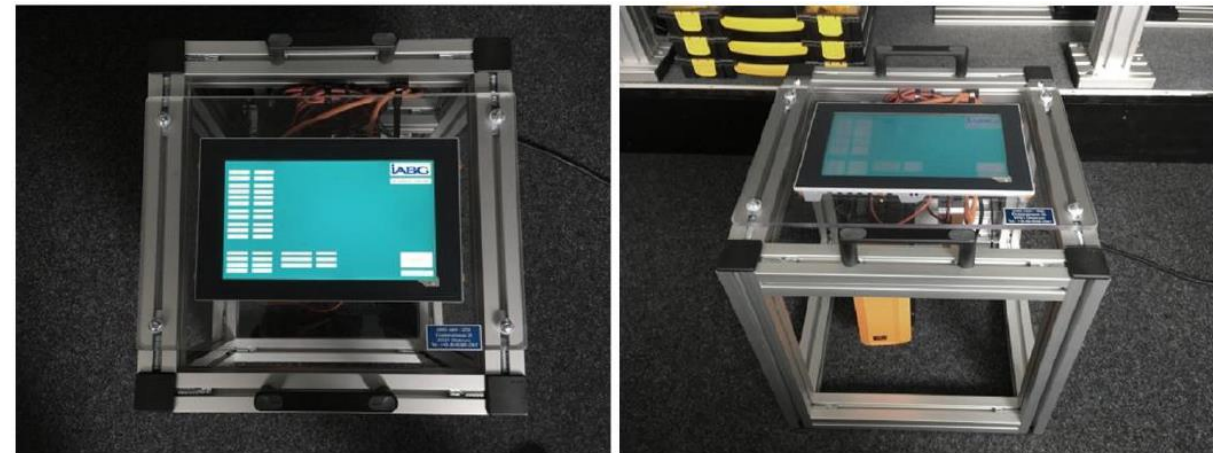
Code generation for B&R Automation Studio
(MATLAB Coder™ & Simulink Coder™)



Portierung auf APC
(B&R Automation Studio)



Quelle R. M. Leitner



3. Versuchsumgebung – Referenzkonfiguration

Hubschrauber

CAD Modell für Parametrierung

- Geometrie [m, deg]

$$\mathbf{r}_{BoB,b} = \begin{bmatrix} -0.011 & -0.003 & 0.029 \end{bmatrix}^T$$

- Masse [kg] und Massenträgheit [kgm²]

$$m_B = 3.352$$

$$\mathbf{I}_{BoBB,b} = \begin{bmatrix} 21481119 & 212342 & -7412985 \\ 212342 & 168529252 & 305513 \\ -7412985 & 305513 & 151868396 \end{bmatrix} 10^{-9}$$



ALIGN TREX 550

3. Versuchsumgebung – Simulationsmodell

Modell mit 18 Freiheitsgraden

- Mehrkörperdynamik

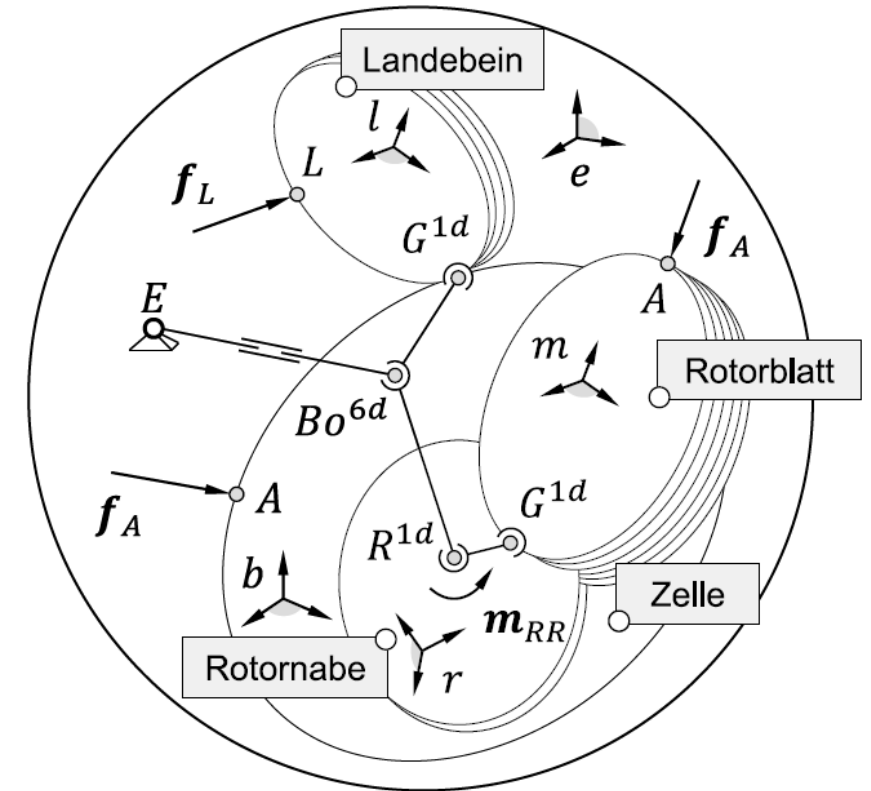
$$M_B(t)\dot{\eta}_B(t) = J_{\eta_B}^\top(t) [e_B(t) - [\dot{j}_B(t) + g_B(t)]]$$

Simulink und Symbolic Math Toolbox™

- Flugregelung/-führung

$$G_{\theta\delta_{lon}}(s) = \frac{\begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s^2 - M_q s & X_q s - g \\ M_u & s - X_u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{\delta_{lon}} \\ M_{\delta_{lon}} \end{bmatrix}}{s^3 - s^2(X_u + M_q) + s(X_u M_q - M_u X_q) + M_u g}$$

MATLAB® und Control System Toolbox™

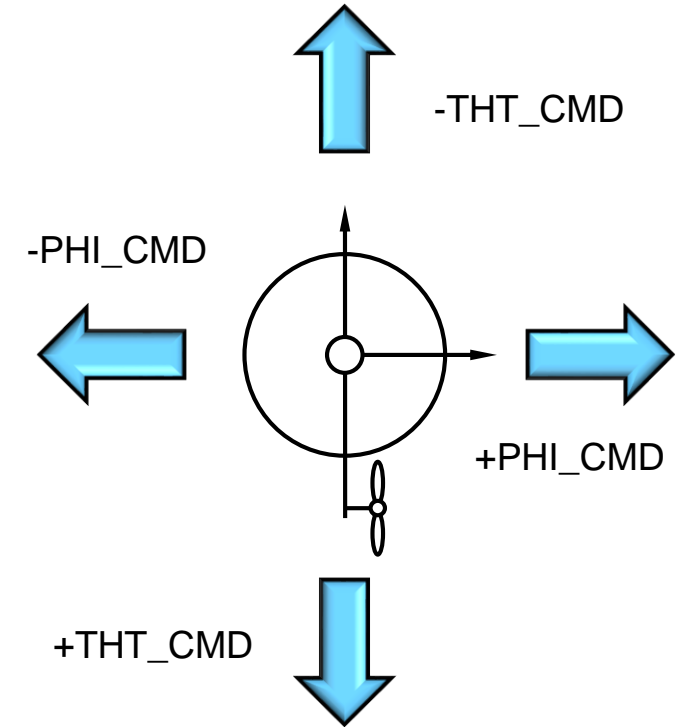
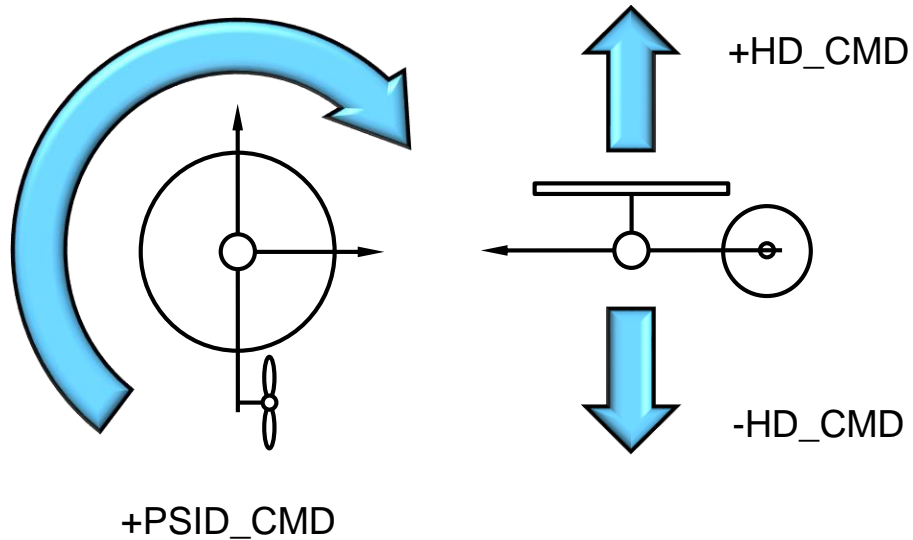


Quelle R. M. Leitner

4. Flugführungsalgorithmen – Betriebsart I (Agiles Fliegen)

Negativer Nickwinkel für Translation nach vorne,

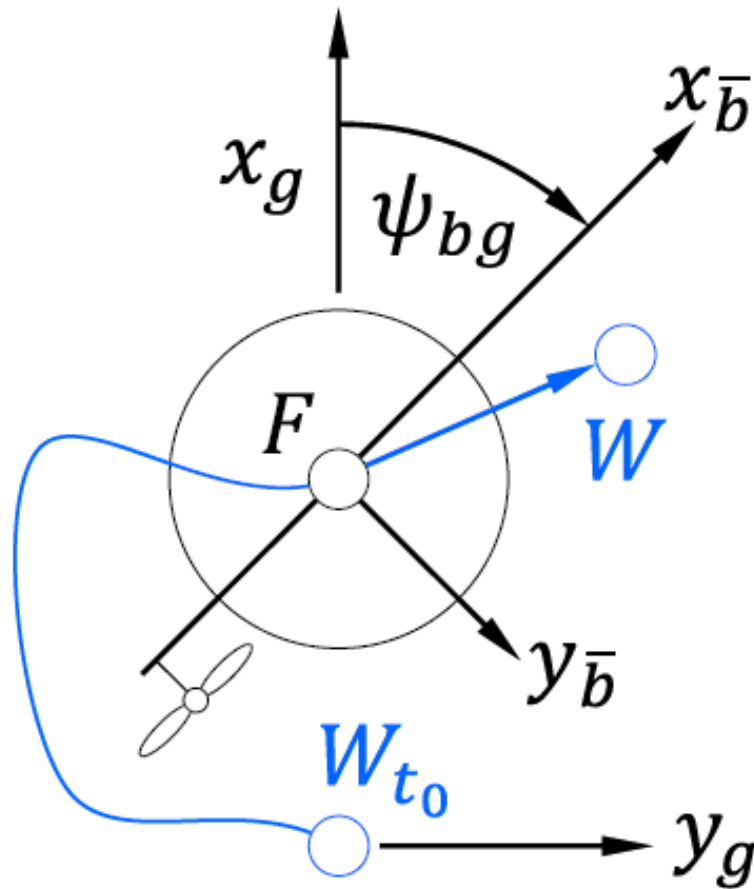
Negativer Rollwinkel für Translation nach links



Positive Gierrate für Drehung nach rechts,

Positive Vertikalgeschwindigkeit für Steigen

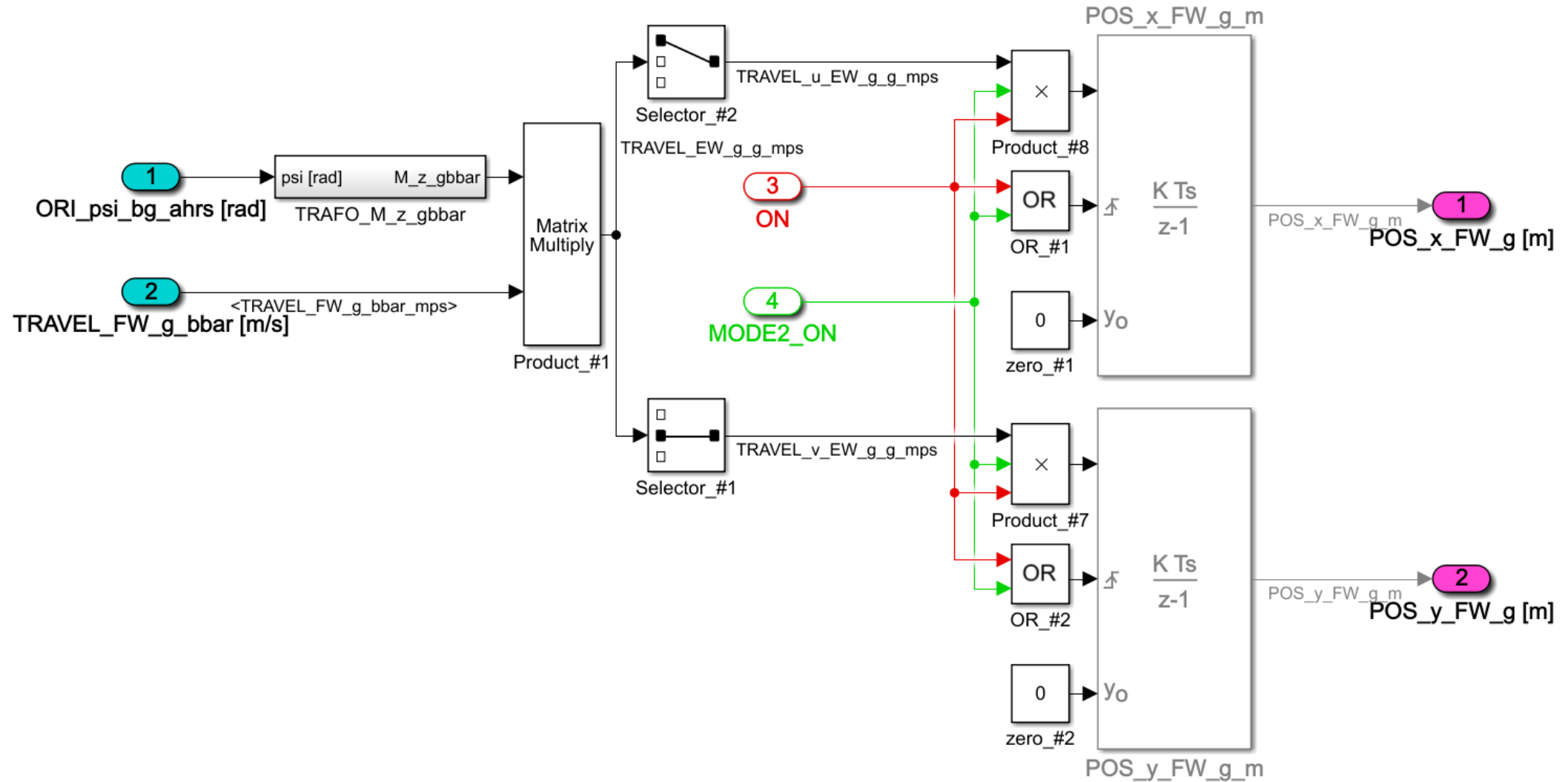
4. Flugführungsalgorithmen – Betriebsart II (Wegpunkt)



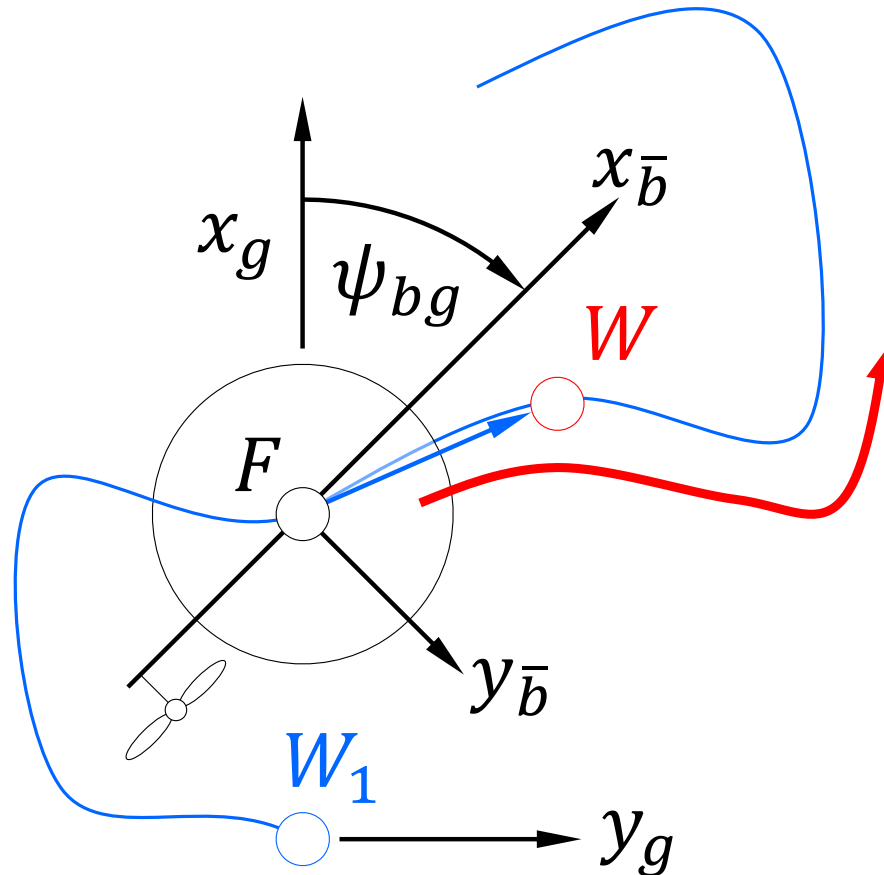
Wegpunkt W wird relativ
zum Hubschrauber
verschoben.

Hubschrauber folgt dem
Wegpunkt.

4. Flugführungsalgorithmen – Betriebsart II (Wegpunkt)



4. Flugführungsalgorithmen – Betriebsart III (Flugbahn)



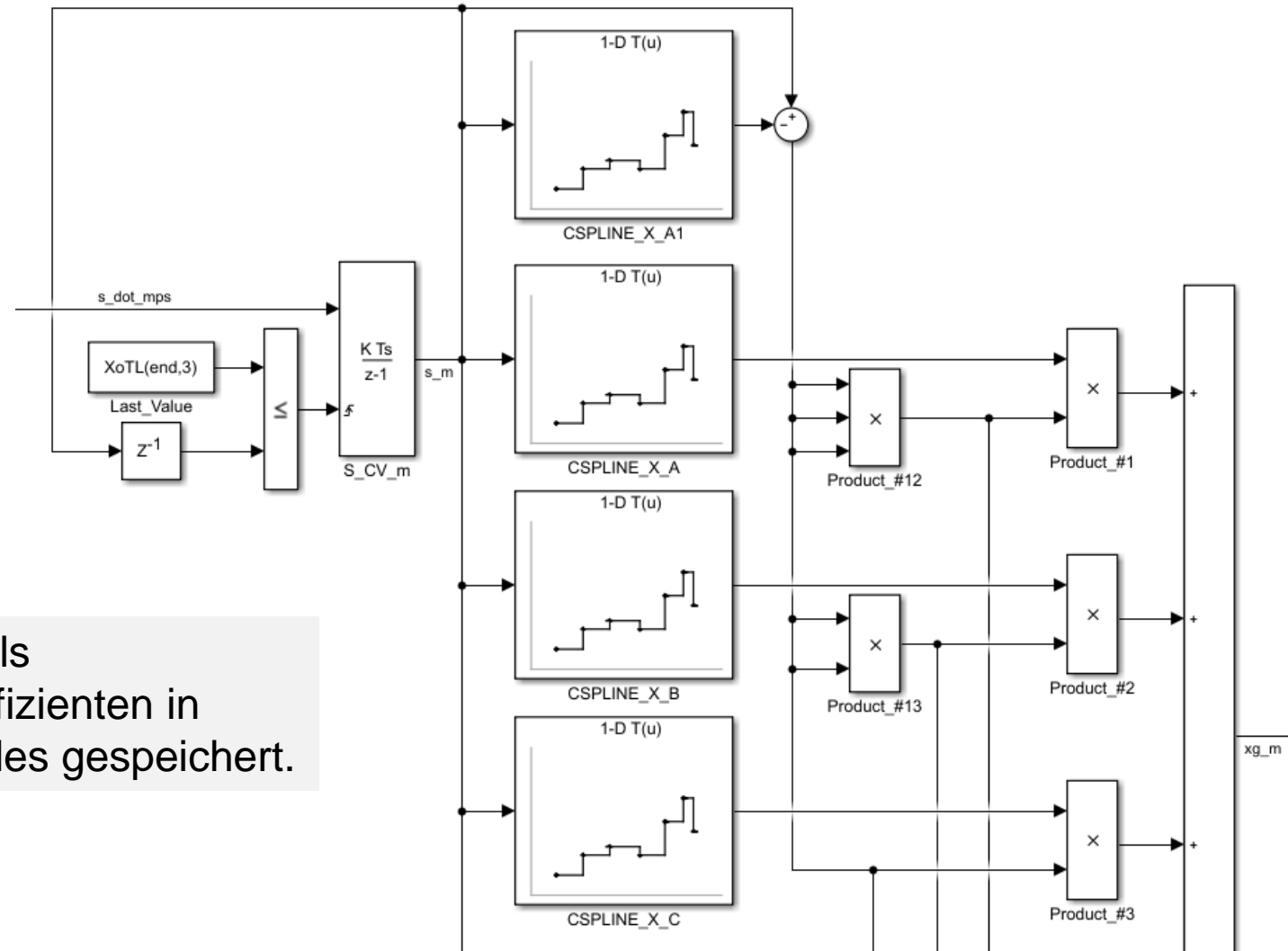
Wegpunkt W wird
entlang einer Flugbahn
verschoben.

Hubschrauber folgt dem
Wegpunkt.

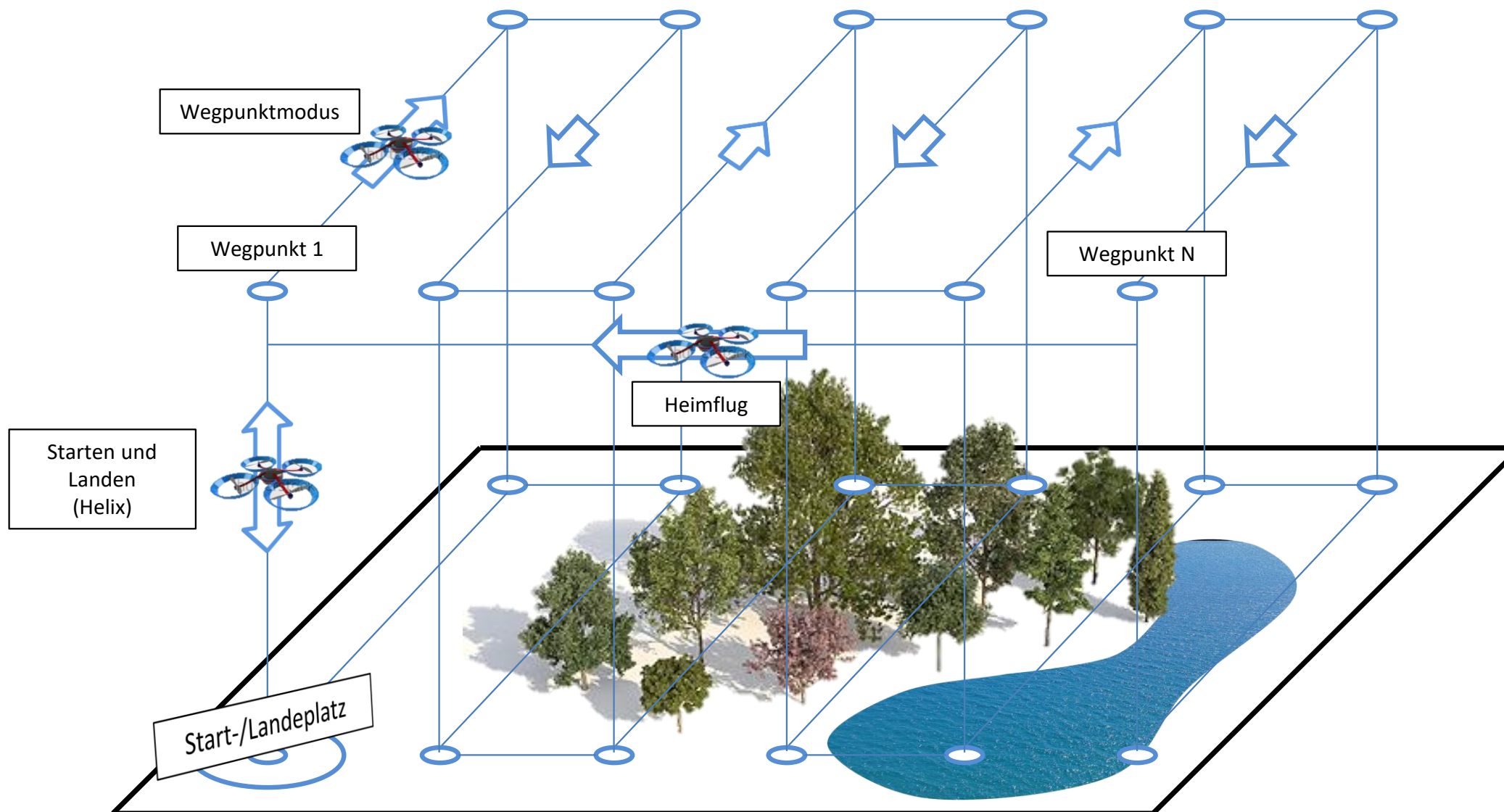
4. Flugführungsalgorithmen – Betriebsart III (Flugbahn)

Geschwindigkeits-Kommando

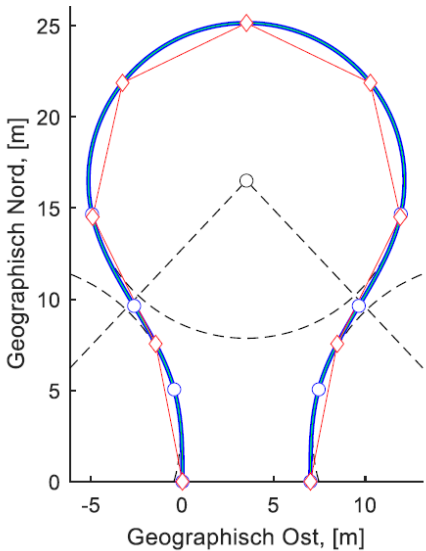
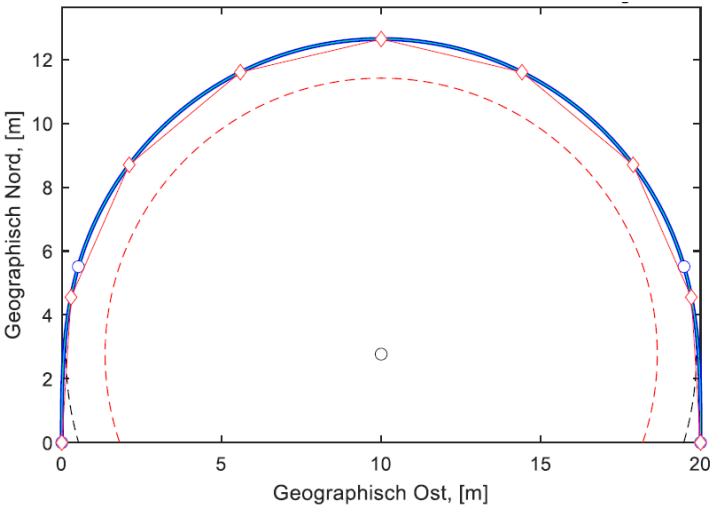
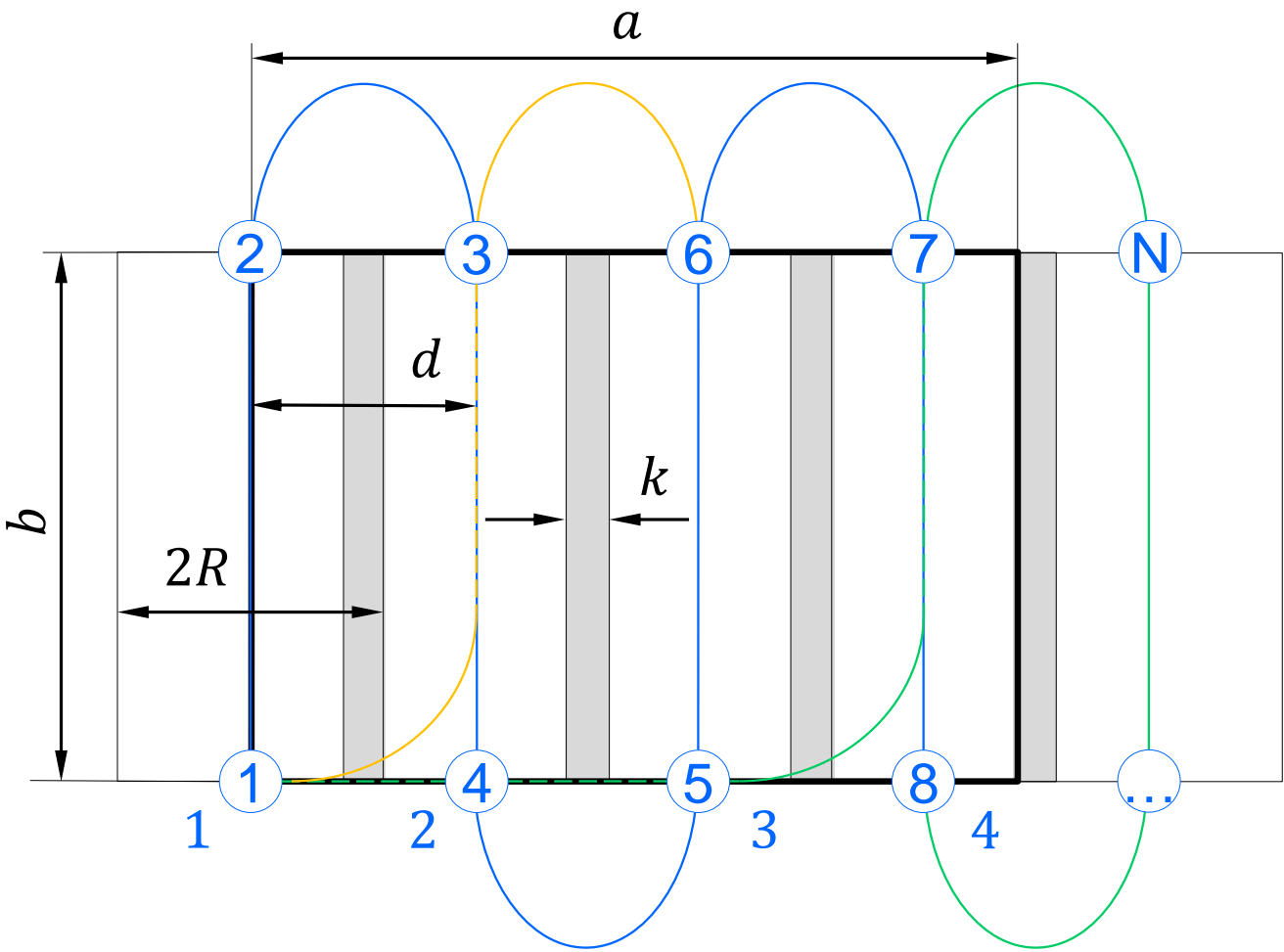
Flugbahn, als
Spline-Koeffizienten in
Lookup Tables gespeichert.



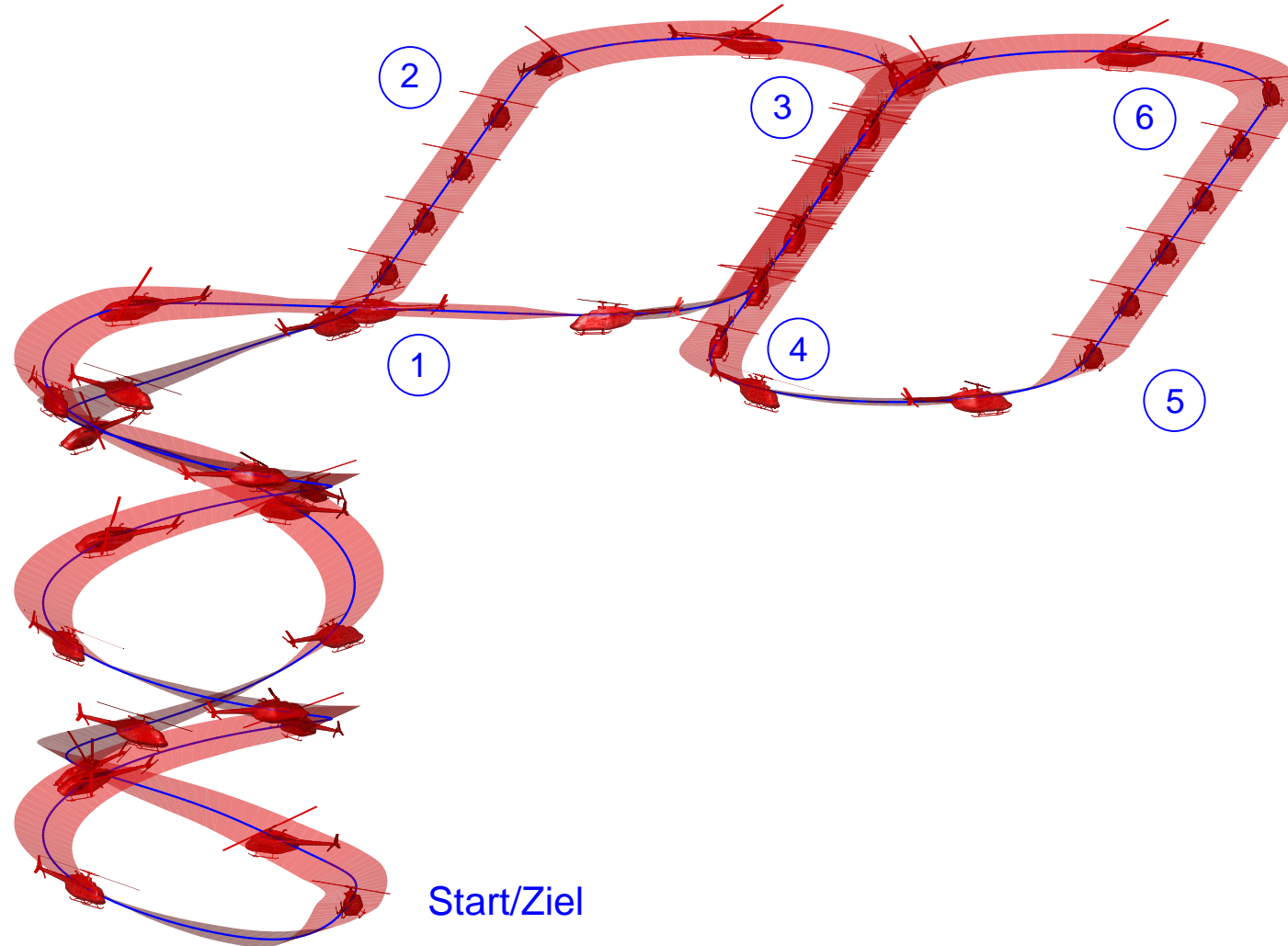
5. Fallbeispiel – Szenario



5. Fallbeispiel – Flugbahnplanung



5. Fallbeispiel – Flugbahn A

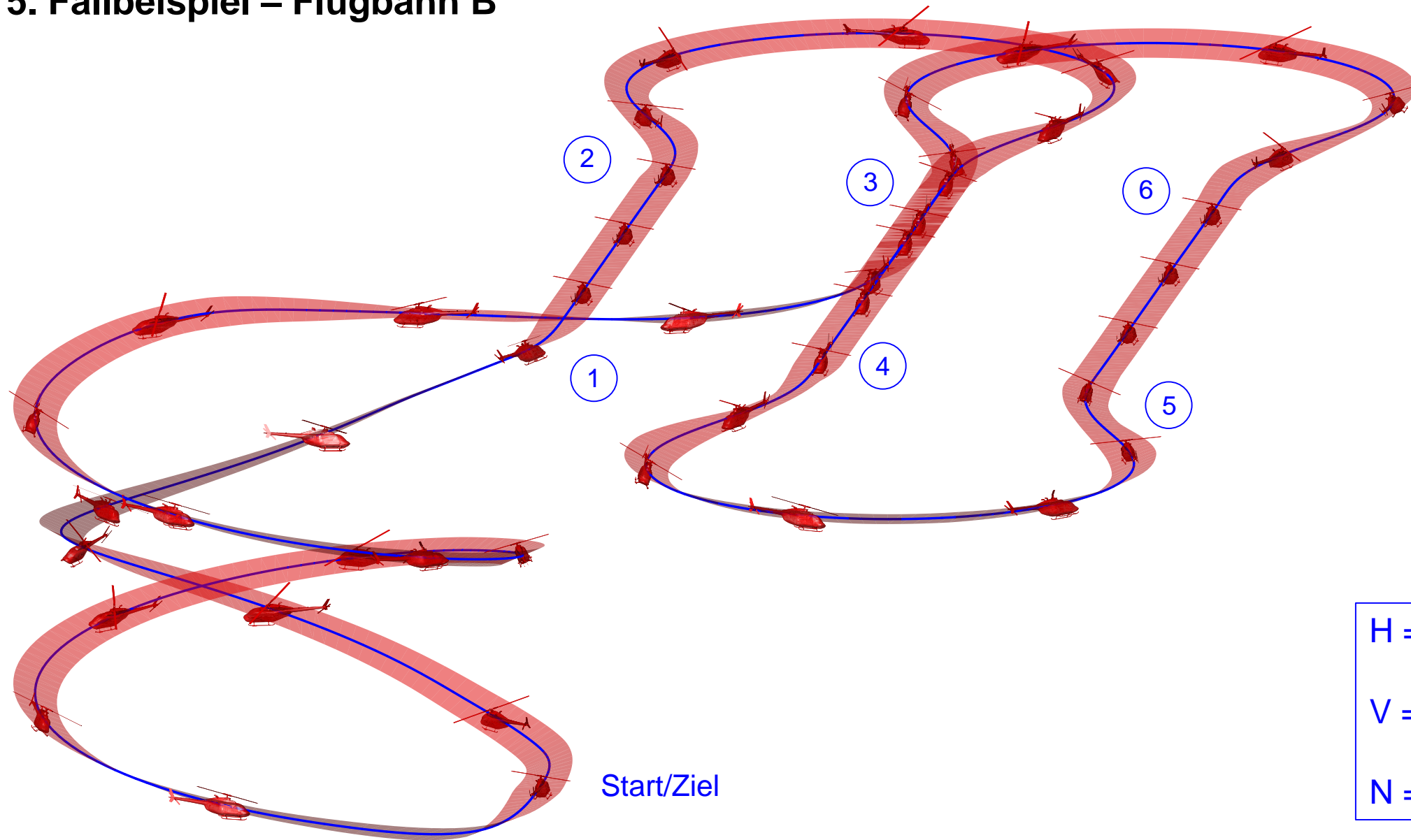


$H = 30 \text{ m}$

$V = 20 \text{ km/h}$

$N = 6$

5. Fallbeispiel – Flugbahn B

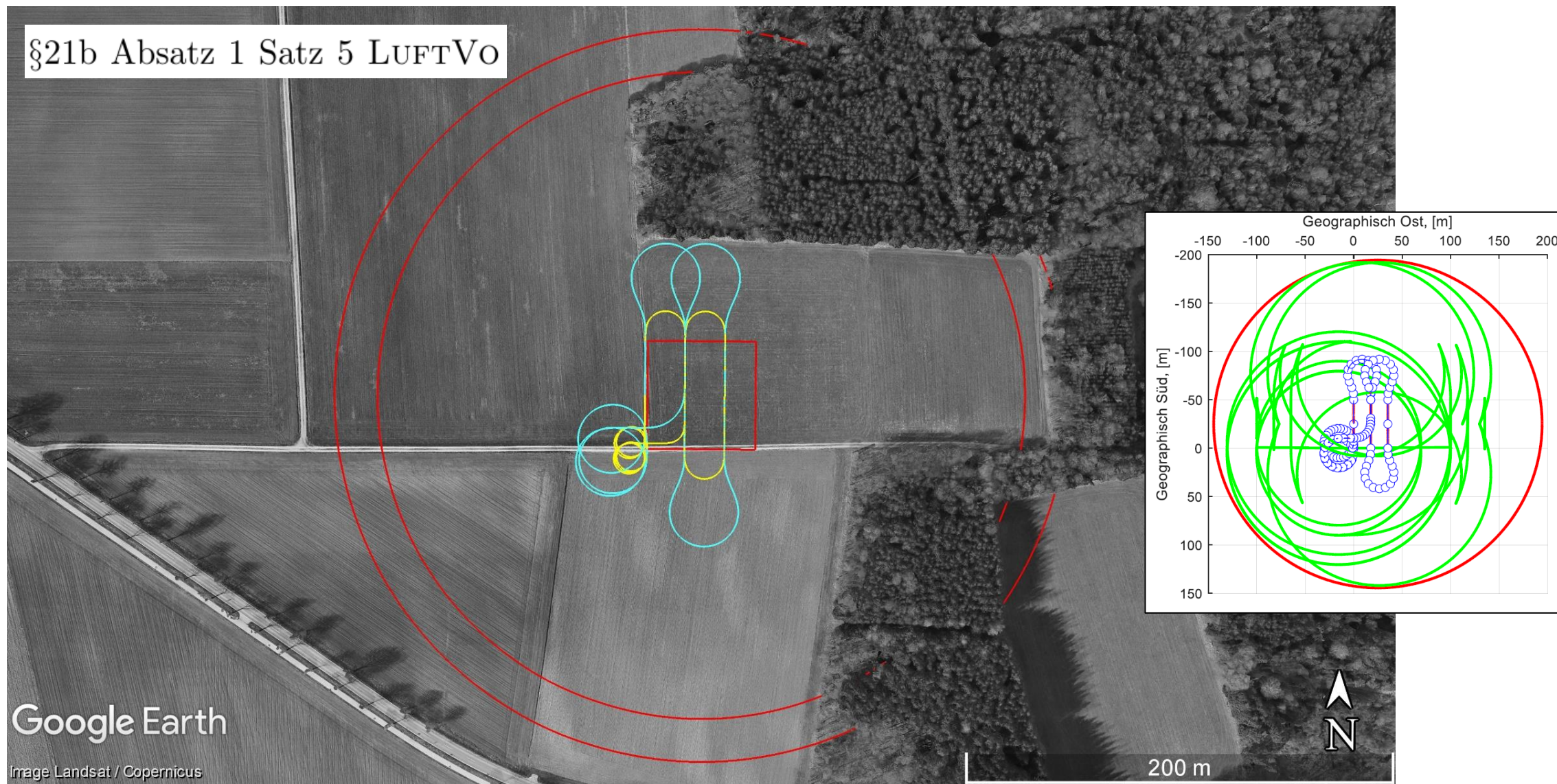


$H = 30 \text{ m}$

$V = 30 \text{ km/h}$

$N = 6$

5. Fallbeispiel – Sicherheitskreise



5. Fallbeispiel – Betriebsart III (Flugbahn A mit VR)



5. Fallbeispiel – Planung vs. Simulation



6. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Versuchsumgebung zur Überprüfung der Flugführungs-SW unter realitätsnahen Bedingungen

Modellgüte und Echtzeitfähigkeit

- Steuerung und Abläufe sind im virtuellen und realen Betrieb identisch

Regelung am Rechner entspricht der Regelung am Flugregelungscomputer (FCC)

- Risikofreies Testen von weiteren Funktionen der Flugführung & Flugregelung

Ausblick

- „Hardware in the Loop“ und reales Fliegen mit den Betriebsarten I, II und III

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit! Fragen?



Ihr Ansprechpartner

IABG mbH

Roland M. Leitner

Einsteinstraße 20

85521 Ottobrunn

Telefon +49 89 6088-2561

Fax +49 89 6088-2561-13

roland.leitner@iabg.de

www.iabg.de

Besonderer Dank gilt

Herrn **Alexander Loch** (IABG mbH)

für die Bereitstellung der VR/AR Technik

&

Frau **Victoria Selzer** (Hochschule München)

für die Durchführung der CAD Modellierung.

Gefördert durch



Bayerisches Staatsministerium für
Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie