Zustandsschätzung eines PMSMs mittels sensorloser Verfahren

Stefano Fabbri

Lehrstuhl für Antriebstechnik
Saarland University

Gliederung

- Einleitung

- Forschungsthemen:

    - Analog Sliding Mode Observer
    - Lastdrehmomentsschätzung eines PMSMs durch Direct Flux Control (DFC) Signale mittels eines Kalman-Beobachters
    - Iterative Vector Decoupling Verfahren.
    - Lastdrehmoment- und BEMFs-schätzung eines PMSMs durch Direct Flux Control Signale mittels eines Kalman-Beobachters

- Fazit

Einleitung

- Ziel:

Entwiklung einer kompletten Drehzahlbereich Zustandschätzung eines PMSMs (Permanent Magnet Synchronous Motor) mittels der eingebetteten Sensoren

Anisotropie-basierte sensorlosen Verfahren ↔ **BEMF-basierte sensorlosen Verfahren**

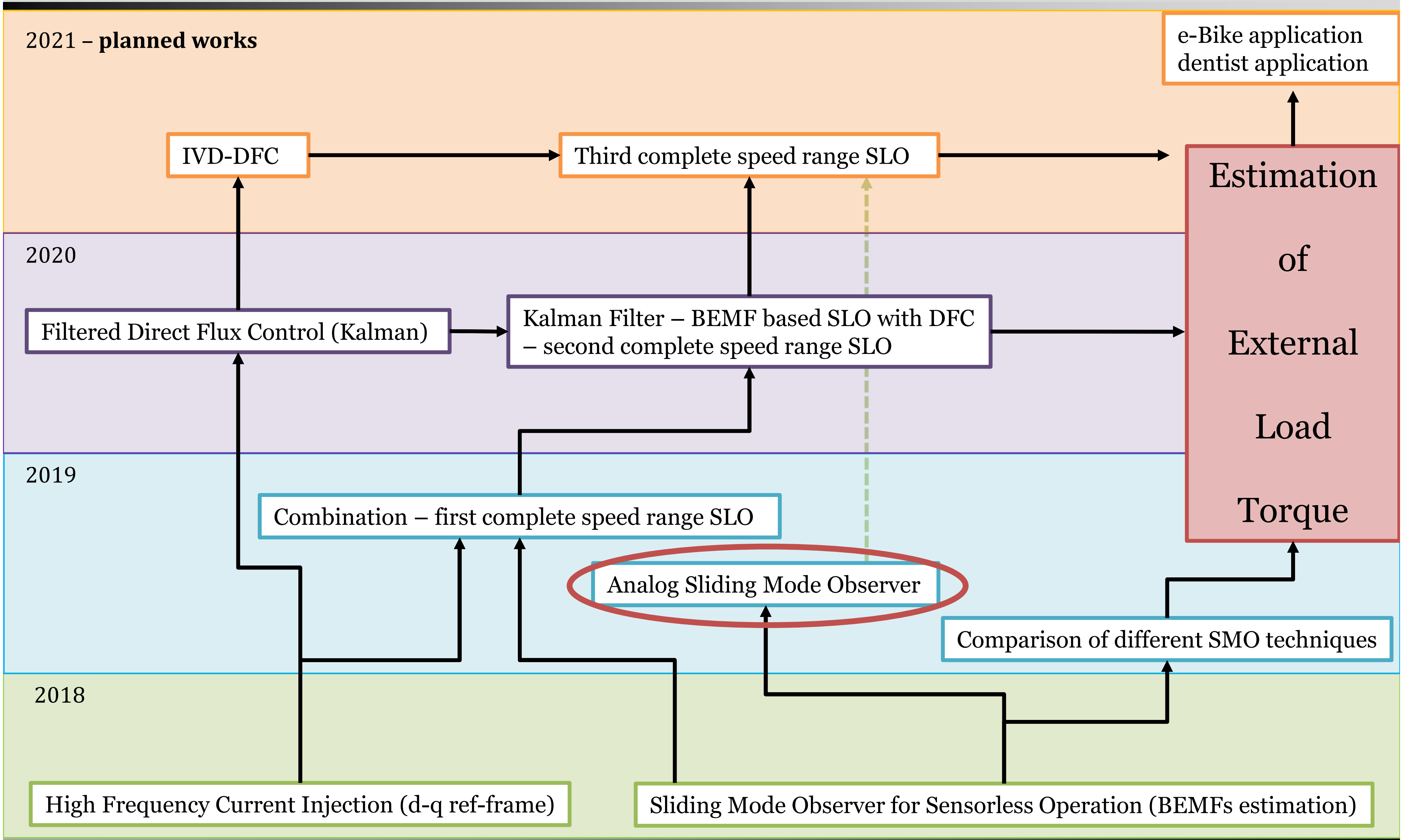
Anisotropie-basierte sensorlosen Verfahren:
- niedrig zu mittel Drehzahlbereich
- Standstill Betrieb

BEMF-basierte sensorlosen Verfahren:
- mittel zu hoch Drehzahlbereich
- Nur Strommessungen erforderlich

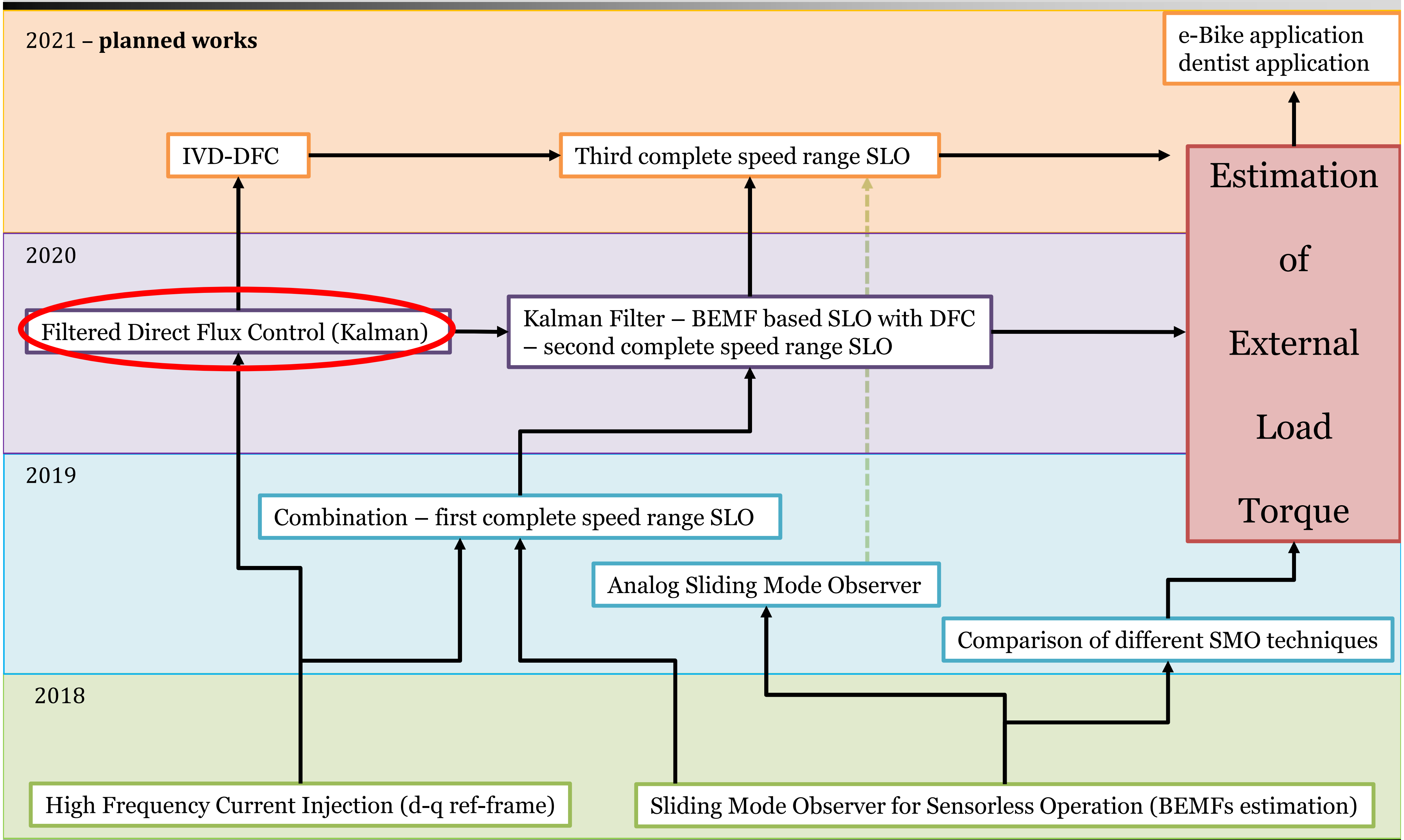
- Herausforderung:

Lastdrehmomentsschätzung eines PMSMs mittels sensorlosen Verfahren

Forschungsplan



Forschungsplan



External Load Torque - Kalman Filter

$$\omega_e(k) = \omega_e(k-1) + \frac{3T_s N_{pp}^2}{2J}\left(\Psi + \left(L_d - L_q\right)i_d(k-1)\right) i_q(k-1) - \frac{T_s N_{pp}}{J} T_{ex}(k-1)$$

$$\vartheta_e(k) = \vartheta_e(k-1) + T_s \omega_e(k-1)$$

$$T_{ex}(k) = T_{ex}(k-1)$$

$$x_k = \begin{bmatrix} \omega_e(k) \\ \vartheta_e(k) \\ T_{ex}(k) \end{bmatrix}$$

→ Zustände:

- Drehzahl
- Winkelposition
- Lastdrehmoment

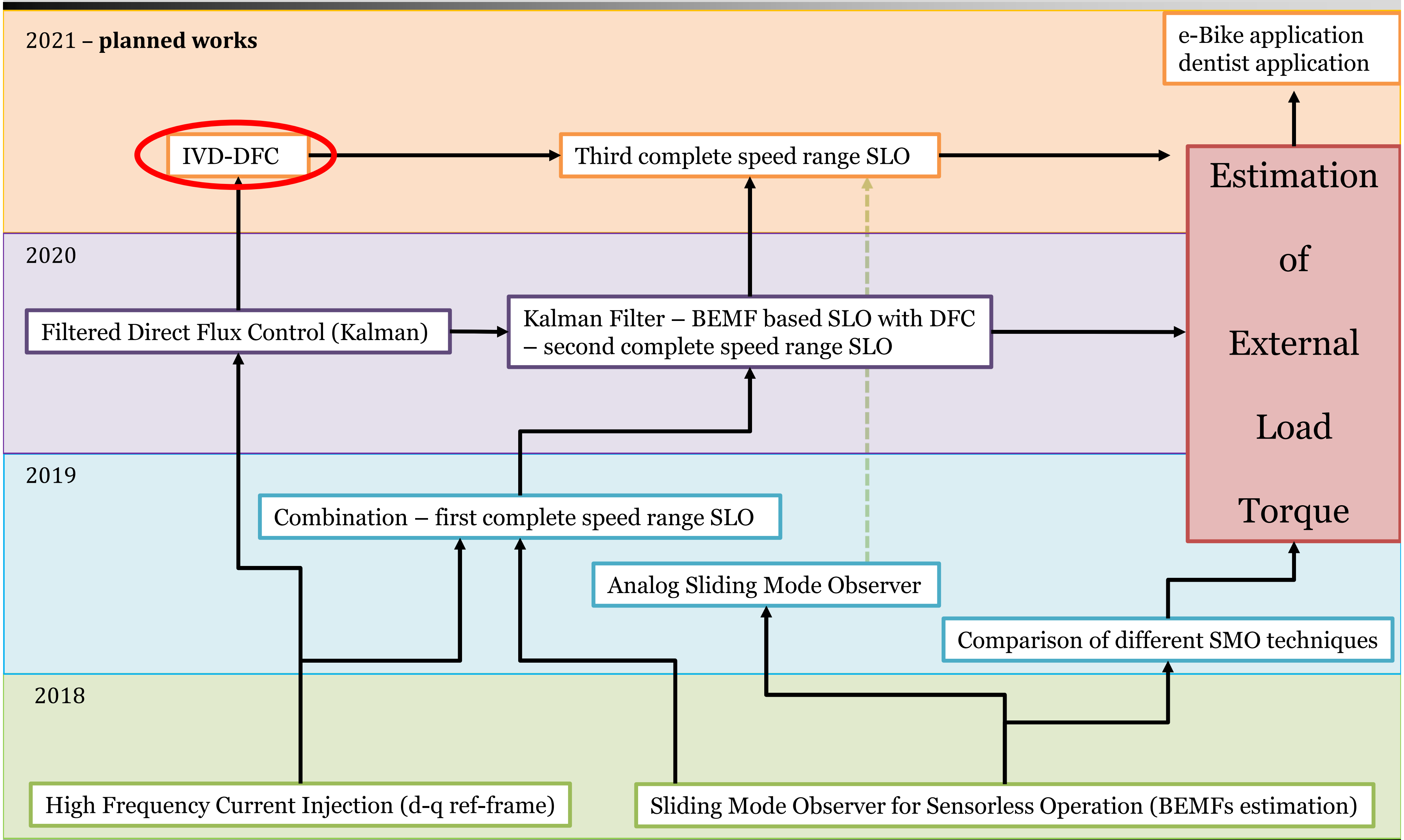
$$y_k = \begin{bmatrix} \Gamma_a \\ \Gamma_b \\ \Gamma_c \end{bmatrix} = \eta \begin{bmatrix} \cos(2\vartheta_e) \\ \cos\left(2\vartheta_e + \frac{2}{3}\pi\right) \\ \cos\left(2\vartheta_e - \frac{2}{3}\pi\right) \end{bmatrix}$$

→ DFC – gemessene Signale

Biphase stationary transformation

$$y_k = \begin{bmatrix} \Gamma_\alpha \\ \Gamma_\beta \end{bmatrix} = \eta \begin{bmatrix} \cos(2\vartheta_e) \\ \sin(2\vartheta_e) \end{bmatrix}$$

Forschungsplan



IVD-DFC (iterative vector decoupling)

$$\Gamma_\alpha = a\cos(2\theta_e) - b\cos(4\theta_e)$$
$$\Gamma_\beta = a\sin(2\theta_e) + b\sin(4\theta_e)$$

→ DFC-Signale

$$X_0 = atan\left(\frac{\Gamma_\beta}{\Gamma_\alpha}\right) = 2\theta_e + \psi(6\theta_e)$$

→ Ripple

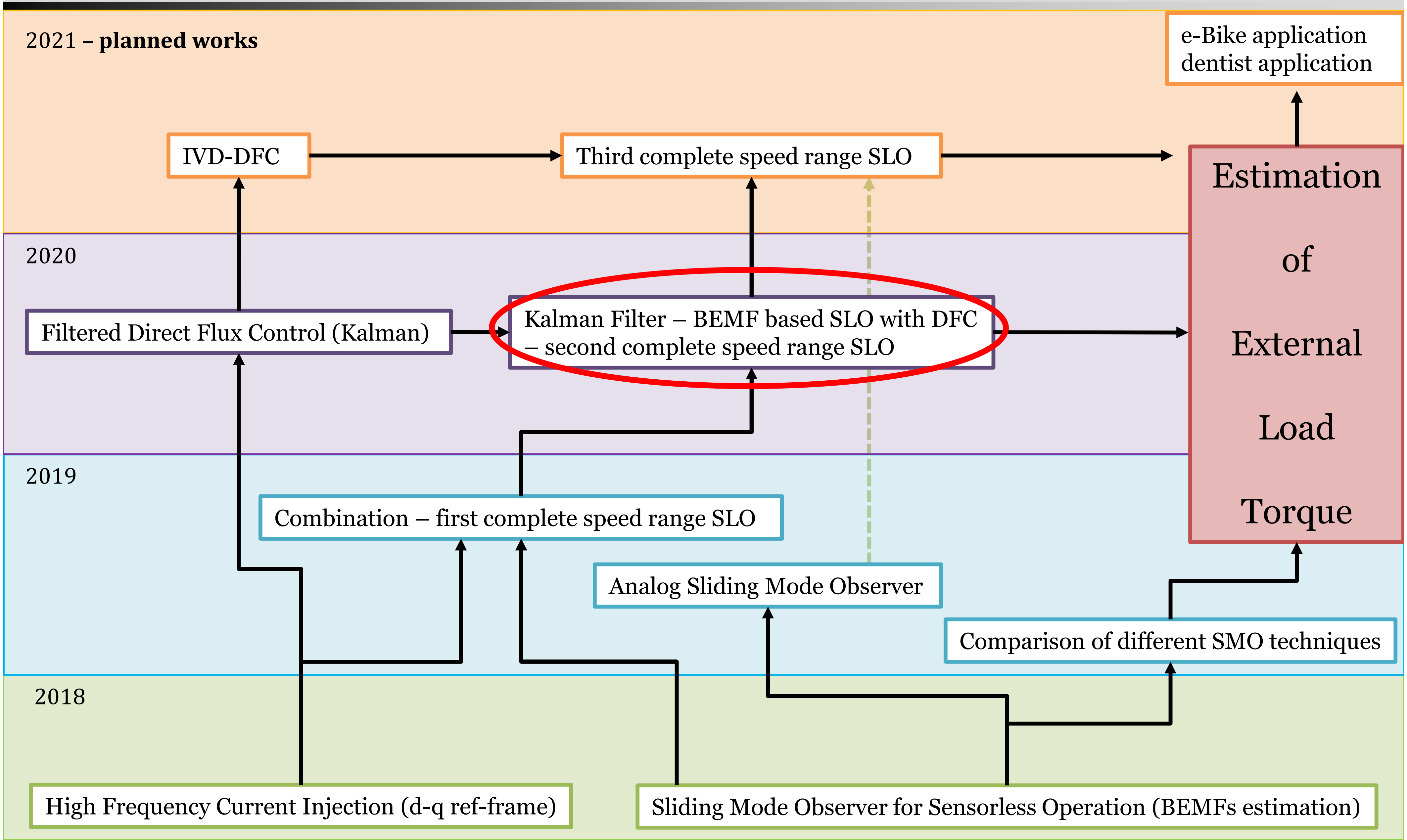
Erste Iteration

$$X_k = atan\left(\frac{\Gamma_\beta - b\sin(2X_{k-1})}{\Gamma_\alpha + b\cos(2X_{k-1})}\right)$$

Alle folgende Iterationen

$$\lim_{k\to\infty} X_k = 2\theta_e$$

Forschungsplan



Combination of DFC and Kalman Filter

LAT Laboratory of Actuation Technology

$$
\begin{cases}
i_\alpha(k+1) = i_\alpha(k) + \frac{T_s}{L}(-Ri_\alpha(k) + K_\phi \omega_e(k)\sin(\theta_e(k)) + V_\alpha(k)) \\
i_\beta(k+1) = i_\beta(k) + \frac{T_s}{L}(-Ri_\beta(k) - K_\phi \omega_e(k)\cos(\theta_e(k)) + V_\beta(k)) \\
\omega_e(k+1) = \omega_e(k) + \frac{N_{pp}T_s}{J}(1.5N_{pp}(i_\beta \cos(\theta_e(k)) - i_\alpha \sin(\theta_e(k))) - T_{load}(k)) \\
\theta_e(k+1) = \theta_e(k) + T_s\omega_e(k) \\
T_{load}(k+1) = T_{load}(k)
\end{cases}
$$

if $V_t \le V_{lim}$ **then**

$\mathbf{y}_k = \mathbf{y}_k^a$

$\mathbf{H}_k = \mathbf{H}_k^a$

else

$\mathbf{y}_k = \mathbf{y}_k^b$

$\mathbf{H}_k = \mathbf{H}_k^b$

end if

$$
\mathbf{y}_k^a = \mathbf{h}(\mathbf{x}_k) = \begin{bmatrix} i_\alpha(k) \\ i_\beta(k) \\ \Gamma_\alpha(k) \\ \Gamma_\beta(k) \end{bmatrix} \quad \mathbf{H}_k^a = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2a\sin(2\theta_e) + 4b\sin(4\theta_e) & 0 \\ 0 & 0 & 2a\cos(2\theta_e) + 4b\cos(4\theta_e) & 0 \end{bmatrix}
$$

$$
\mathbf{y}_k^b = \begin{bmatrix} i_\alpha(k) \\ i_\beta(k) \end{bmatrix}, \mathbf{H}_k^b = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}
$$

Fazit und folgende Forschung

- Zusammenstellung von Analog Sliding Mode Observer (ASMO) und Direct Flux Control (DFC)

- Online Schätzung von den *a* und *b* DFC Parameters

- Vergleich zwischen *ASMO/DFC 3 Zustände Kalman Filter* und *DFC 5 Zustände* Verfahren

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!