

# Eine integrierte Umgebung zur symbolischen Schaltungsmodellierung

## Konzept der symbolischen Vereinfachung mit Schaltern

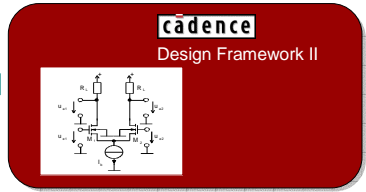
**Symbolisches BSIM3-Modell:**

$$I_{ds} = \frac{I_{ds}(V_{ds})}{1 + \frac{R_{ds} I_{ds}(V_{ds})}{V_{ds}}} \left( 1 + S_{DIBL} H (S_{CLM} + S_{DIBL} - 0.5) \frac{V_{ds} - V_{ds,off}}{V_A} \right) \left( 1 + S_{SCBE} \frac{V_{ds} - V_{ds,off}}{V_{ASCE}} \right)$$

$$V_A = V_{A,lin} + \left( 1 + \frac{P_{int} V_{ds}}{E_{int} I_{ds}} \right) \left( S_{DIBL} \cdot S_{CLM} \cdot \frac{1}{V_{ACLM} + V_{ABLC}} + (S_{DIBL} - 1) \cdot S_{CLM} \cdot V_{ACLM} + (S_{CLM} - 1) \cdot S_{DIBL} \cdot V_{ABLC} \right)$$

DIBL: Drain-Induced Barrier Lowering  
 CLM: Channel-Length Modulation  
 SCBE: Substrate Current-Induced Body Effect  
 linear: Transistor in linear region

Symbolische Gleichungsmanipulation



**VerilogA-Verhaltensmodell**

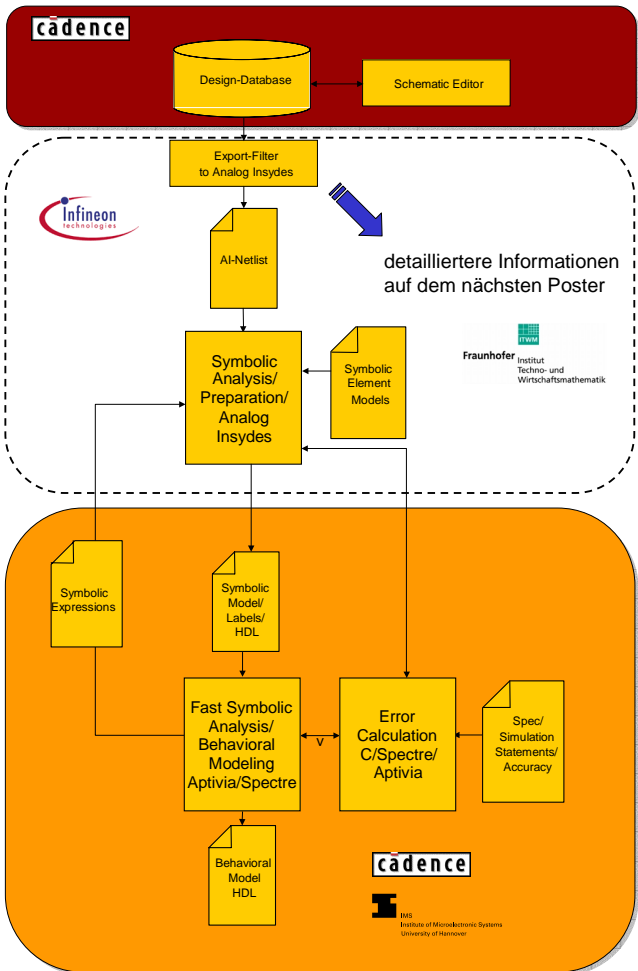
$$u_{e2} = R_L \cdot (u_{e1} - u_{e2}) \sqrt{\frac{W}{2L} \mu C_{ox} I_b - \frac{W}{2L} \mu C_{ox} \cdot (u_{e1} - u_{e2})} - \frac{1}{2} R_L I_b + V_{DD}$$

$$k = \frac{1}{16} \cdot \frac{W}{2L} \mu C_{ox} (\hat{u}_{e2} - \hat{u}_{e1})^2 \cdot \sqrt{64 I_b^2 + 4 \frac{W^2}{4L^2} \mu^2 C_{ox}^2 I_b^2 (\hat{u}_{e2} - \hat{u}_{e1})^4} + \dots$$

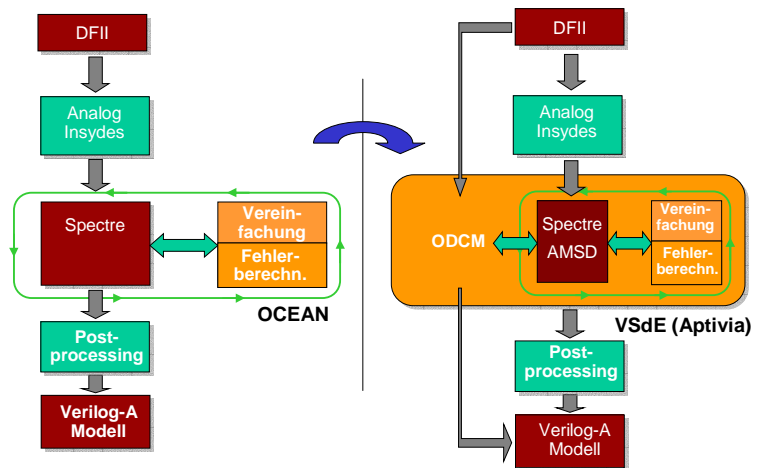
- Symbolische Schaltungsgleichungen werden automatisch aus der Netzliste unter Verwendung symbolischer Bauelemente-Modelle generiert
- Setzen der Schalter-Parameter führt zur Vereinfachung durch Wegschalten von Gleichungsteilen (mit numerischer Kontrolle)
- Symbolisches Analysewerkzeug erzeugt Verhaltensmodell

## Ablauf Verhaltensmodellierung / Gesamt-Flow

- Einlesen von Schaltungs- und Simulationsdaten aus dem Cadence-Framework in Analog Insydes
- Symbolische Analyse innerhalb von Analog Insydes
- Ggf. Export von symbolischen Modellen (z.B. VerilogA) zum Cadence-Framework
- Weitere Vereinfachungen innerhalb des Cadence-Frameworks



## Vereinfachung des symbolischen Modells mit Spectre



- Standardisierte Verhaltensmodellbeschreibung Verilog-A
- Modellvereinfachung durch Setzen von Schaltern im Modell unter Einsatz von Spectre (Cadence)
- Berücksichtigung von Matching-Informationen / Konvergenzhilfen
- Fortgeschrittene Fehlerkriterien, zugeschnitten auf optimale Modellierung von z.B. Slew-Rate, Phasenreserve, ...

