

# Wrinkle Synthesis



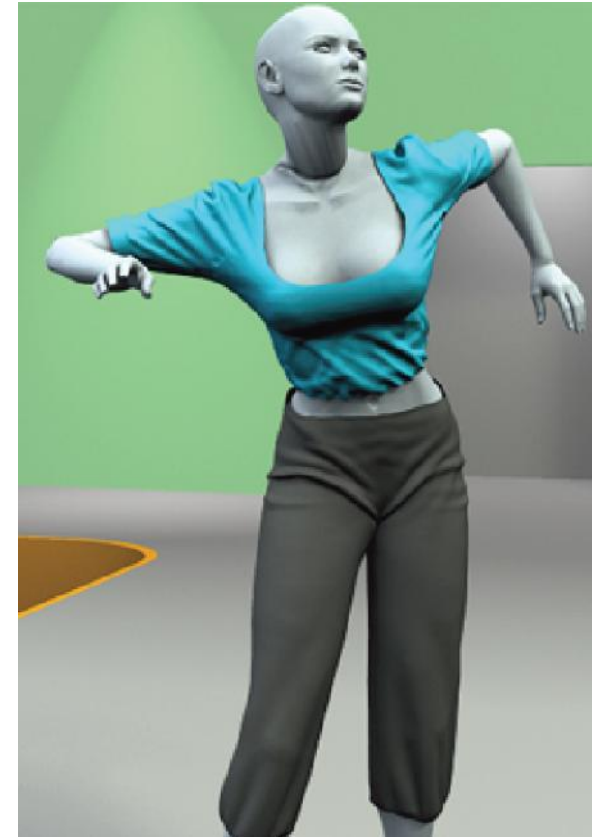
„Faltensynthese“

Ralf Jäger

# Wrinkle Synthesis Übersicht

---

1. Die Ausgangssituation
2. Umgang mit der Problematik
3. Annahmen bzw. Einschränkungen
4. Faltensynthese im Überblick
5. Der Algorithmus
6. Implementierungsdetails / Ergebnisse
7. Fazit und Ausblick



Faltensynthese in Aktion (S. 7)

## Hauptquelle:

Huamin Wang, Florian Hecht, Ravi Ramamoorthi and James F. O'Brien.

"Example-Based Wrinkle Synthesis for Clothing Animation".

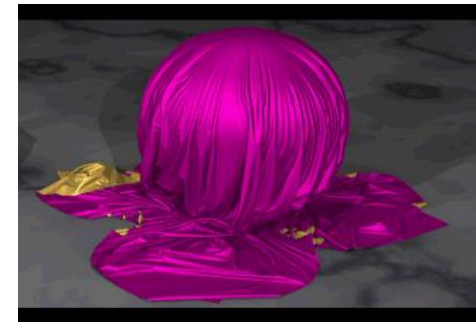
In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2010, pages 107:1–8, July 2010.

# Wrinkle Synthesis

## Die Ausgangssituation

---

- **Typischerweise Falten auf Kleidung**
- **In meisten Fällen enger Hautkontakt**
- **Existenz hochrealistischer Verfahren**
  - Inklusive präziser Falten
  - Komplex, zu langsam (keine Interaktivität)
  - Starke Abhängigkeit zur Anzahl der Kollisionen und Hautkontakte
- **Existenz interaktiver Verfahren für Capes und Röcke**
  - Nur sporadische Falten
  - Interaktiv
- **Ziel: Umsetzung von Falten in Echtzeit**



**Hochrealistische Verfahren – 45min pro Frame**  
(Selle et al., 2009, S. 10)



**Interaktive Verfahren (HeroEngine)**  
(Bordes et al., 2009)

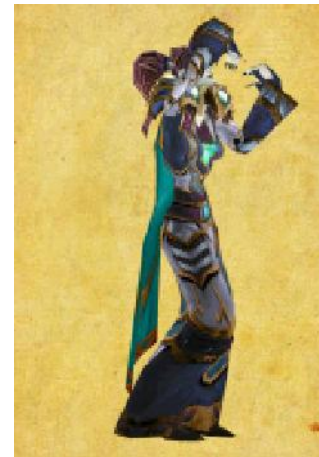
# Wrinkle Synthesis

## Umgang mit der Problematik

---

- **Ignorieren**

- Einfachste Lösung
- Aber: Kleidung extrem unnatürlich



Ignorieren (WoW)

- **Umgehen**

- Kleidung ohne Stoff
- Aber: eingeschränkte Szenarien



Umgehen (Mass Effect 2)

- **Kaschieren**

- Einfache, bewegliche und feste Elemente
- Normal Maps und Geometrie-Texturen
- Prozedurale Annäherung
- Niedrig aufgelöste Simulation
- Realistische Stilleben, Falten aber zu statisch



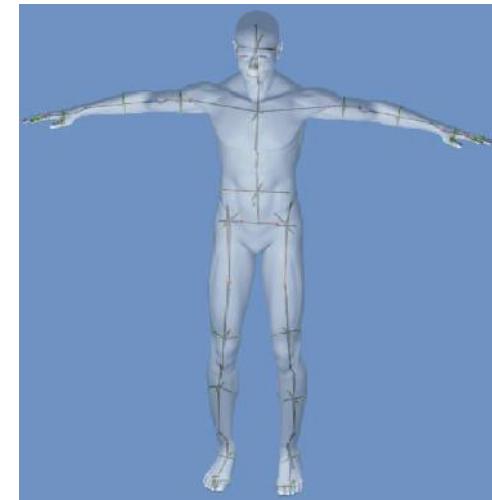
Kaschieren (The Force unleashed)



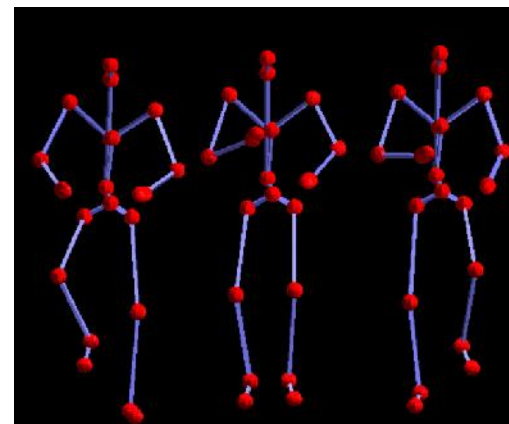
# Wrinkle Synthesis

## Umgang mit der Problematik

- **Andere Herangehensweisen**
  - Texturbasierte Dreieckstransformation
  - Prozedurale Annäherung
  - Belastungskarten und Datenbank von Künstlern
  - Ausnutzung von Schatten aus Fotos
- **Hier: Übertragung aus Hautanimation**
  - Hautfalten = Stofffalten
  - Skelett als Haupteinfluss
  - Alternativen: Beispiel-basiert.  
-> Interpolation
  - Trennung statische und dynamische Hautdeformation (Falten bzw. Gesichtsform)



Skelettbasierte Hautanimation  
(Vasilakis et al., 2009, S. 5)



Beispielbasierte Hautanimation (Park and Hodgins., 2008, S. 6)



# Wrinkle Synthesis

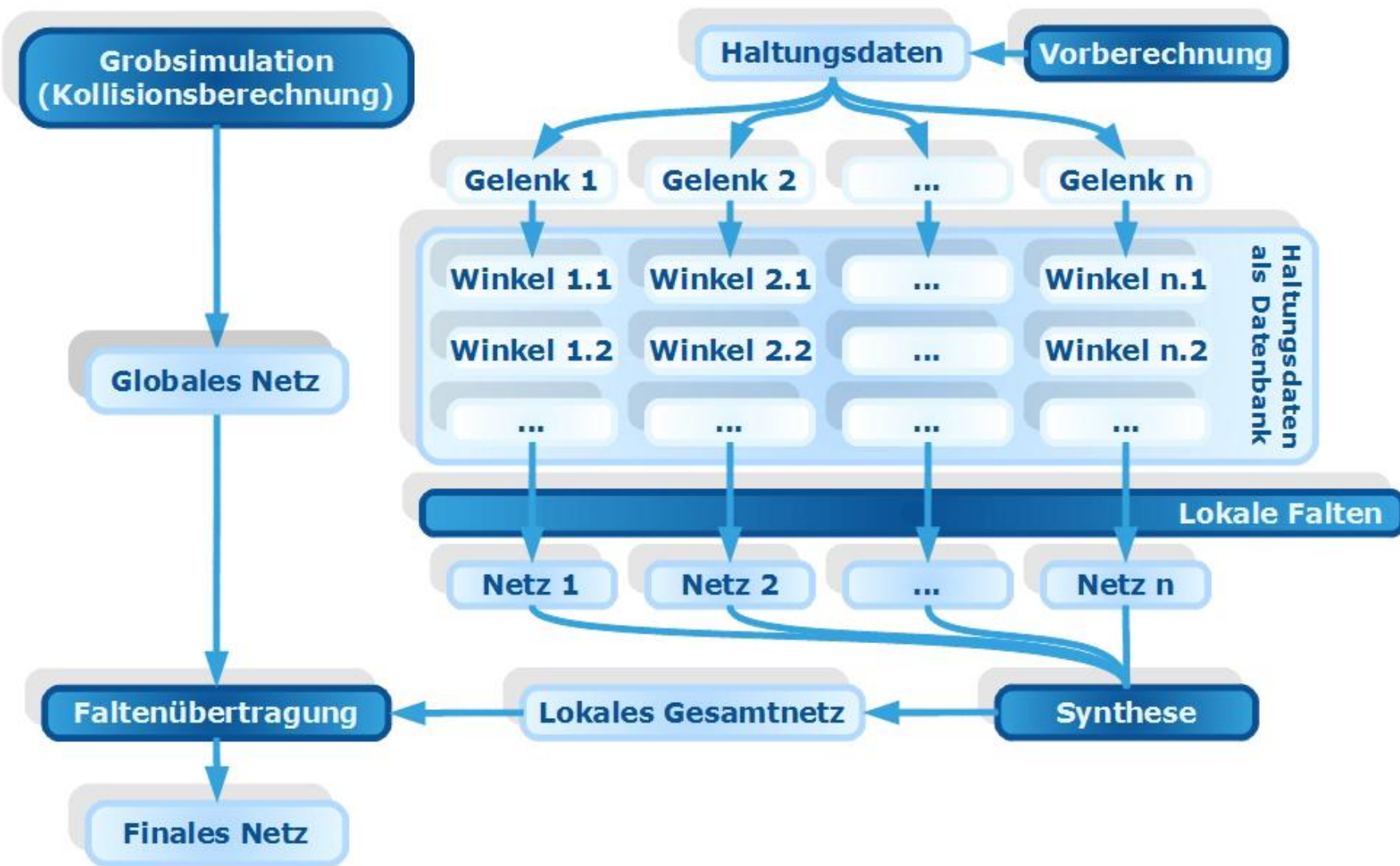
## Annahmen bzw. Einschränkungen

---

- **Gelenkbewegung als größter Einfluss**
  - Externe Kräfte (Wind) vernachlässigbar
  - Gesamtbewegung (Trägheit) sehr geringer Einfluss
  - Legitimation: Trennung Falten- und Kollisionsberechnung
- **Ähnliche Posen = ähnliche Faltenmuster**
  - "Gedächtnis" des Materials, zusätzliche Verstärkung
  - Enger Körperkontakt = wenig Spielraum für Stoff
  - Legitimation: Nutzung Datenbank mit statischen Werten
- **Gelenkbewegungen mit lokalen Einflüssen**
  - Weit entfernte Kleidungspartien fast unbeeinflusst
  - Legitimation: Kombination von Falten nur lokal

# Wrinkle Synthesis

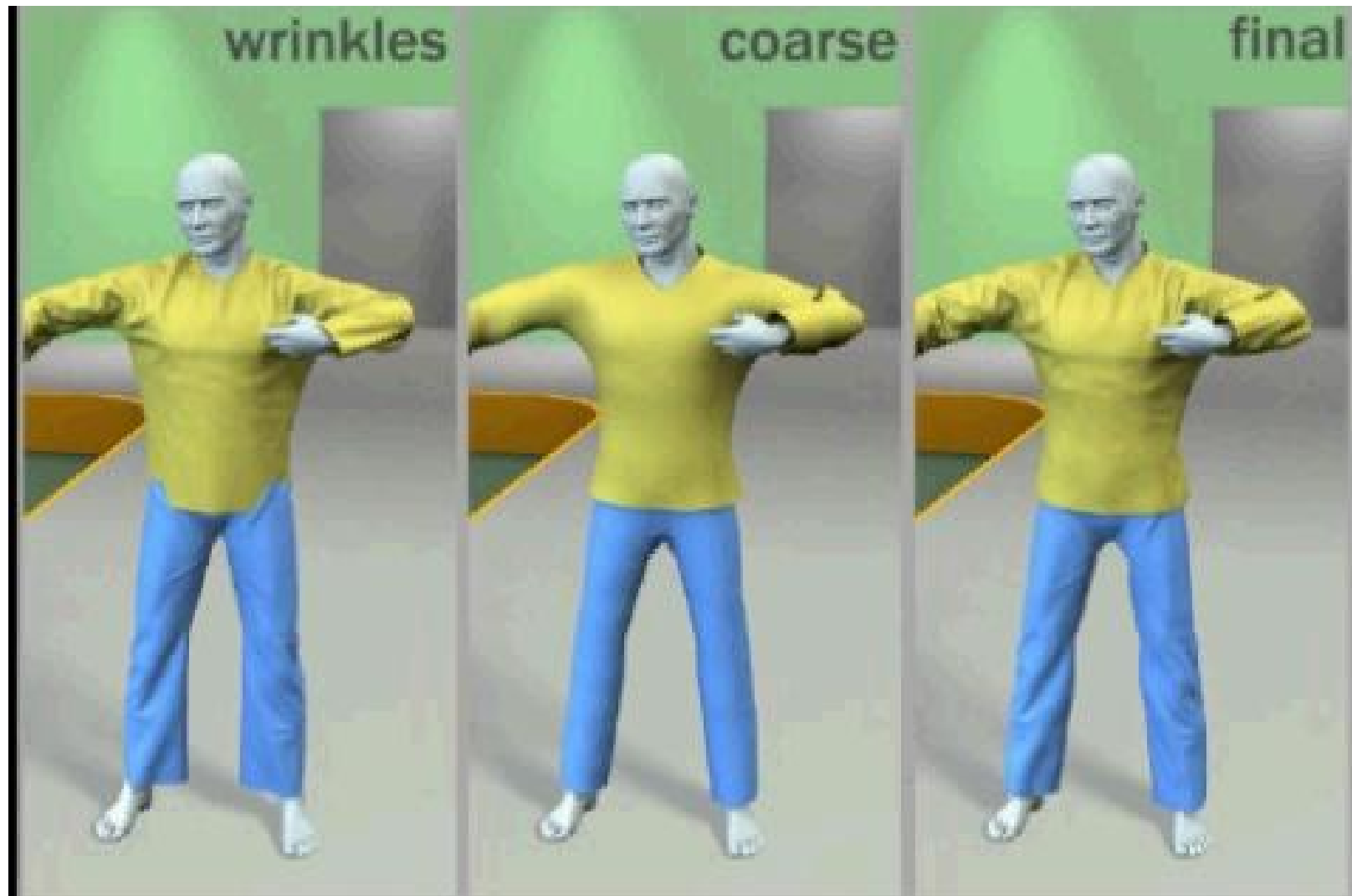
## Faltensynthese im Überblick



# Wrinkle Synthesis

## Faltensynthese im Überblick

---

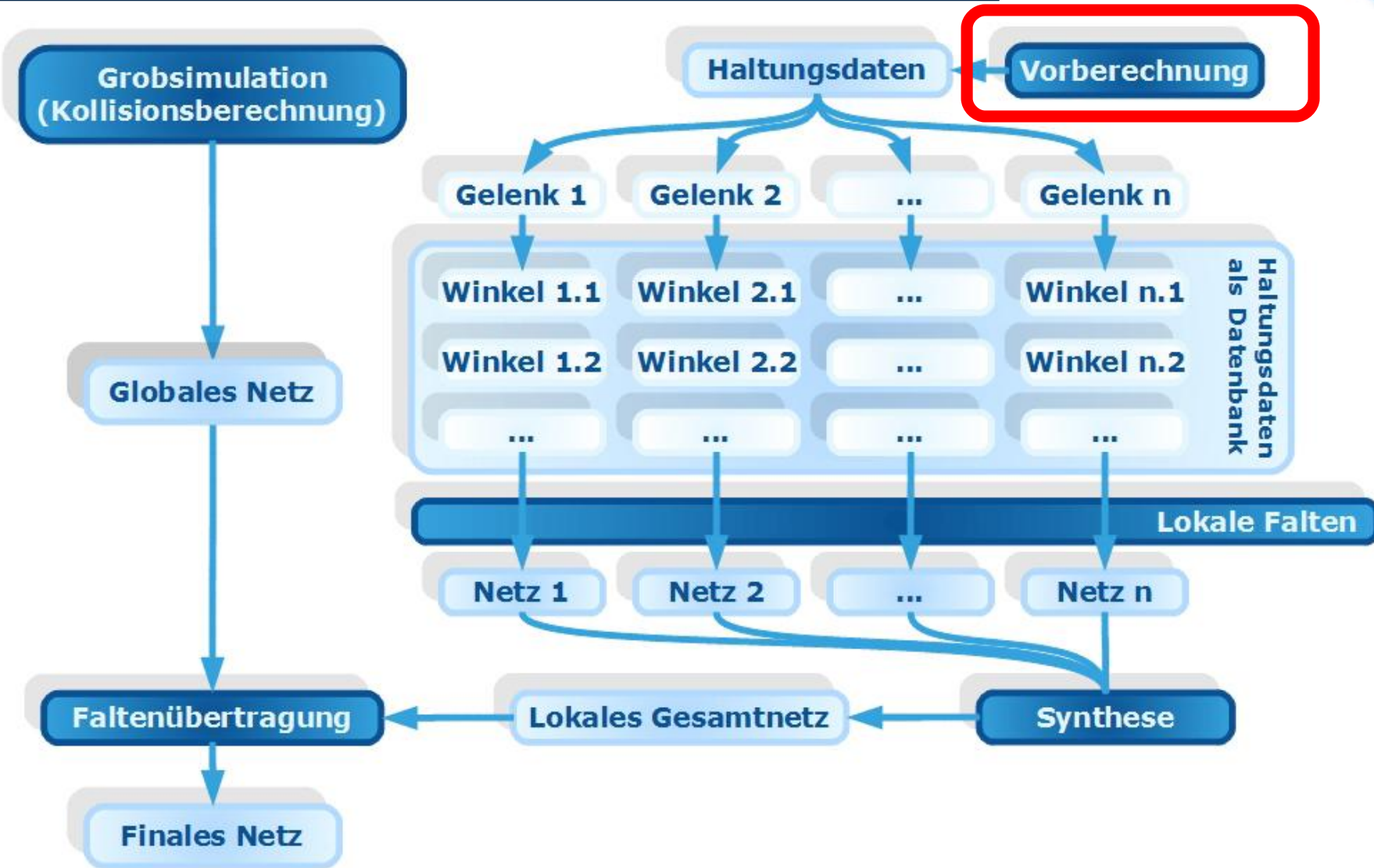


Abschnitte des Algorithmus im Vergleich



# Wrinkle Synthesis

## Faltensynthese im Überblick



# Wrinkle Synthesis

## Der Algorithmus

- **Vorberechnung – Stichproben**

- Für jedes Gelenk separat
- Aus erlaubten Bewegungsraum
- 4 Scharniergelenke (Ellenbogen, Knie) und 5 Kugelgelenke (Schultern, Hüftgelenke, Rückgrat)
- Stichproben im 15° oder 30° Abstand
- Beispiel Rückgrat:
  - 3 Winkel Drehung
  - 3 Winkel Vorwärtsknicken
  - 5 Winkel Seitwärtsknicken
  - 45 mögliche Konstellationen

Name	# samples
Elbow (L)	14
Elbow (R)	14
Knee (L)	11
Knee (R)	11
Spine	3×3×5
Shoulder (L)	3×6×7
Shoulder (R)	3×6×7
Hip (L)	3×3×10
Hip (R)	3×3×10

Übersicht Stichproben (S. 4)

- Insgesamt 325 Stichproben für Oberkörper, 202 Unterkörper
- Bei nicht-Separierung: Anzahl Datensätze  $> 10^{14}$

# Wrinkle Synthesis

## Der Algorithmus

---

- **Vorbereitung – Simulation**

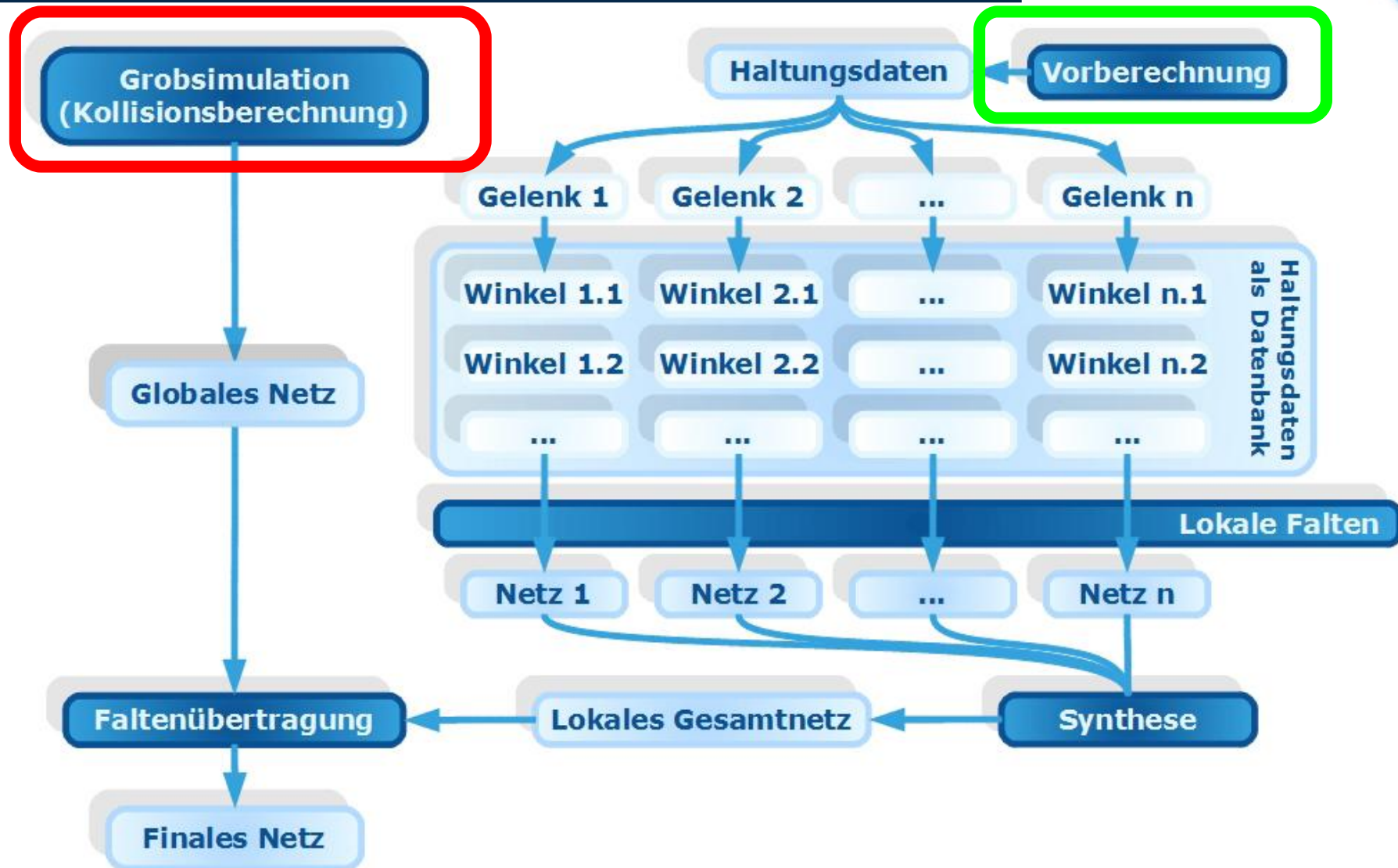
- Ziel: Netzunterschiede zwischen ruhender Pose und gewünschter Pose als hochaufgelöstes Gitternetz
- Nutzung eines Zugfeder-Systems
  - Längenfeder pro Kante (für Stoffzusammenhalt)
  - Krümmungsfeder pro Vertexpaar benachbarter Dreiecke (Falten)
  - Reibungsfeder = Kollisionskraft Körper/Stoff (Dynamische Reibung)
  - Straffeder pro Vertex-Dreieck-Paar (gegen Eigenkollision)
- Berechnung in Abhängigkeit von Zeit
  - Körper Umwandlung in Volumen
  - Kollisionsabfrage mit Körper
  - Spannung der Kleidung
  - Daraus resultierende Deformation



**Gerenderte Simulation –  
2-3min pro Frame**

# Wrinkle Synthesis

## Faltensynthese im Überblick





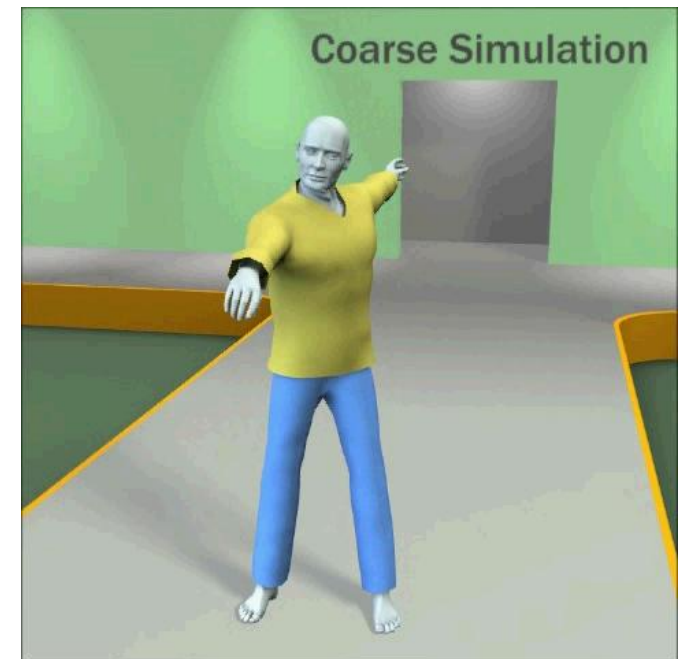
# Wrinkle Synthesis

## Der Algorithmus

---

- **Grobsimulation der Kleidung**

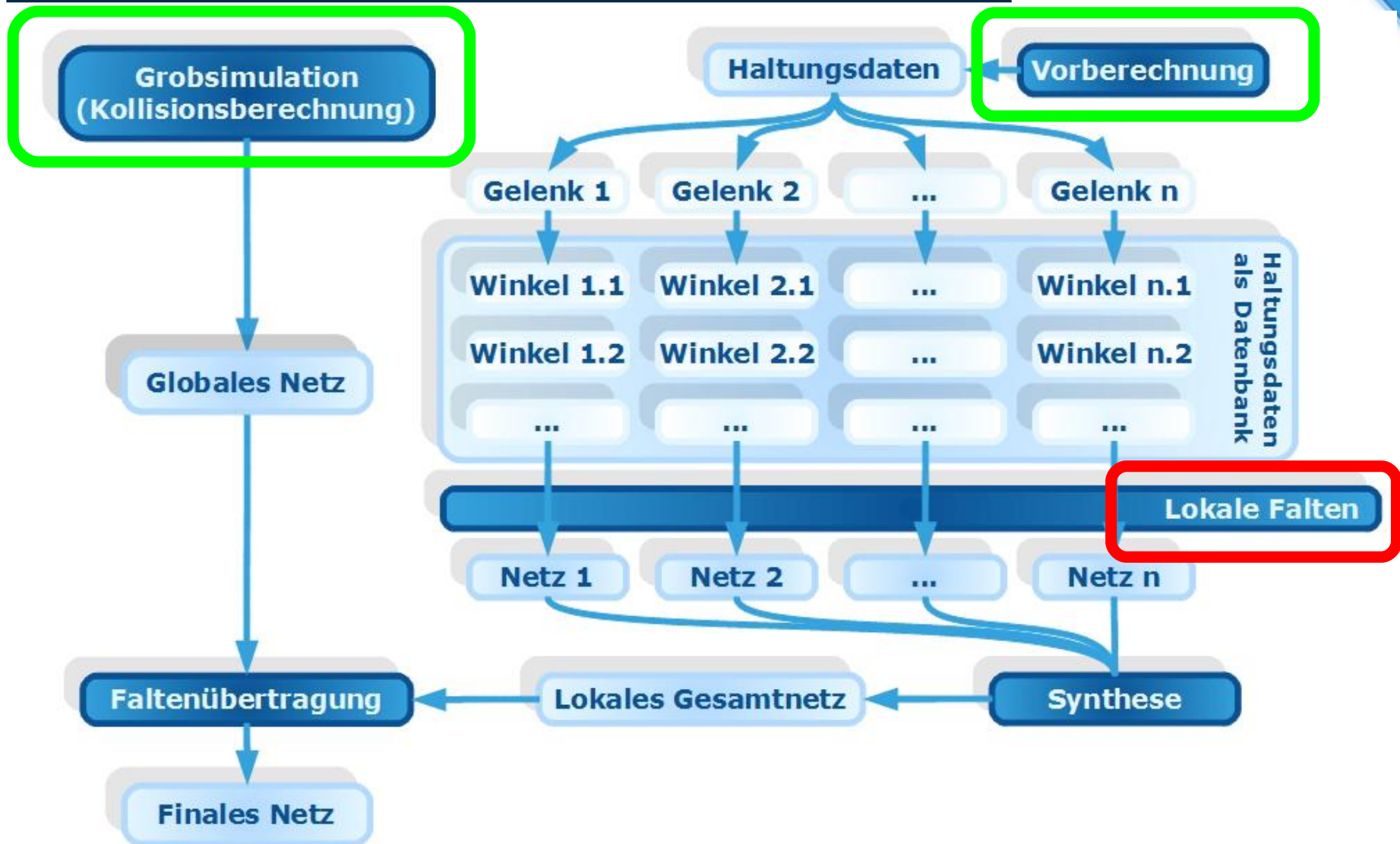
- Schnelle Simulation der Kleidungsform am Körper
- Vereinfachte Berechnung ähnlich Simulation
- Einfluss der Zeit vereinfacht (von 4 auf 2 Dimensionen)
- Eigenkollision ignoriert
- Körper-Stoff-Kollision zu langsam
  - Körper-Normalen
  - Nächstgelegenes Stoff-Dreieck
  - Inside-Out-Test
- Stoff-Stoff Kollision:
  - Annahme Stoff in Schichten getragen
  - Ein Stoff immer über dem anderen
  - Test dann ähnlich Körper-Stoff-Kollision



**Grobsimulation der Kleidung**

# Wrinkle Synthesis

## Faltensynthese im Überblick



# Wrinkle Synthesis

## Der Algorithmus

- Faltensynthese – Lokale Falten**

- Gelenkbewegung = Rotation
- Rotationsorientierte Interpolation besser als linear (hier Artefakte)
- Scharniergelenke: Interpolation über Winkel und Distanz zum Gelenk ( $0 \leq t \leq 1$ )

$$p(t) = c_0 + ((1-t) * |e_0| + t * |e_1|) * R(\hat{n}, t\theta) * \hat{e}_0$$

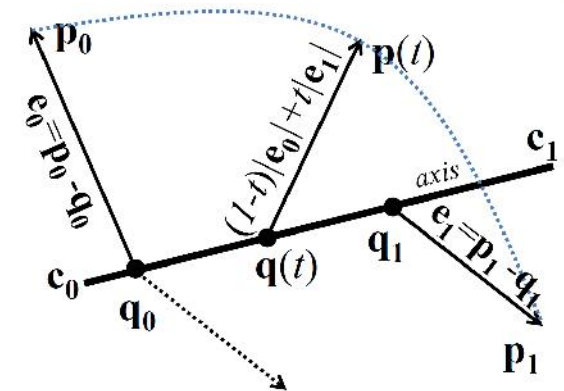
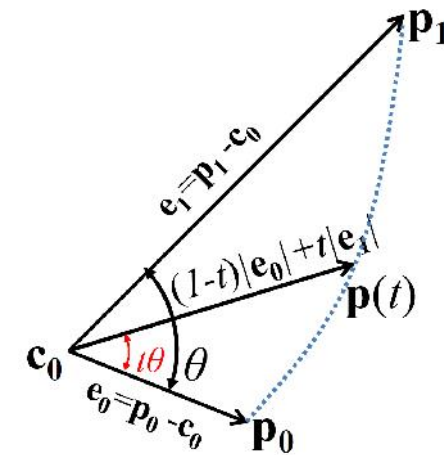
Äquivalent: *FinalerVektor*( $t$ ) = Gelenkposition + LängeNeuerVektor( $t$ ) \* RichtungZwischenE0undE1( $t$ )

- Kugelgelenke: Über Distanz zur Achse, Winkel, Distanz auf Achse

$$q(t) = (1-t) * q_0 + t * q_1$$

$q(t)$  als Stützvektor,  $q_0$  und  $q_1$  sind Projektionen von Beispielpositionen auf Knochen

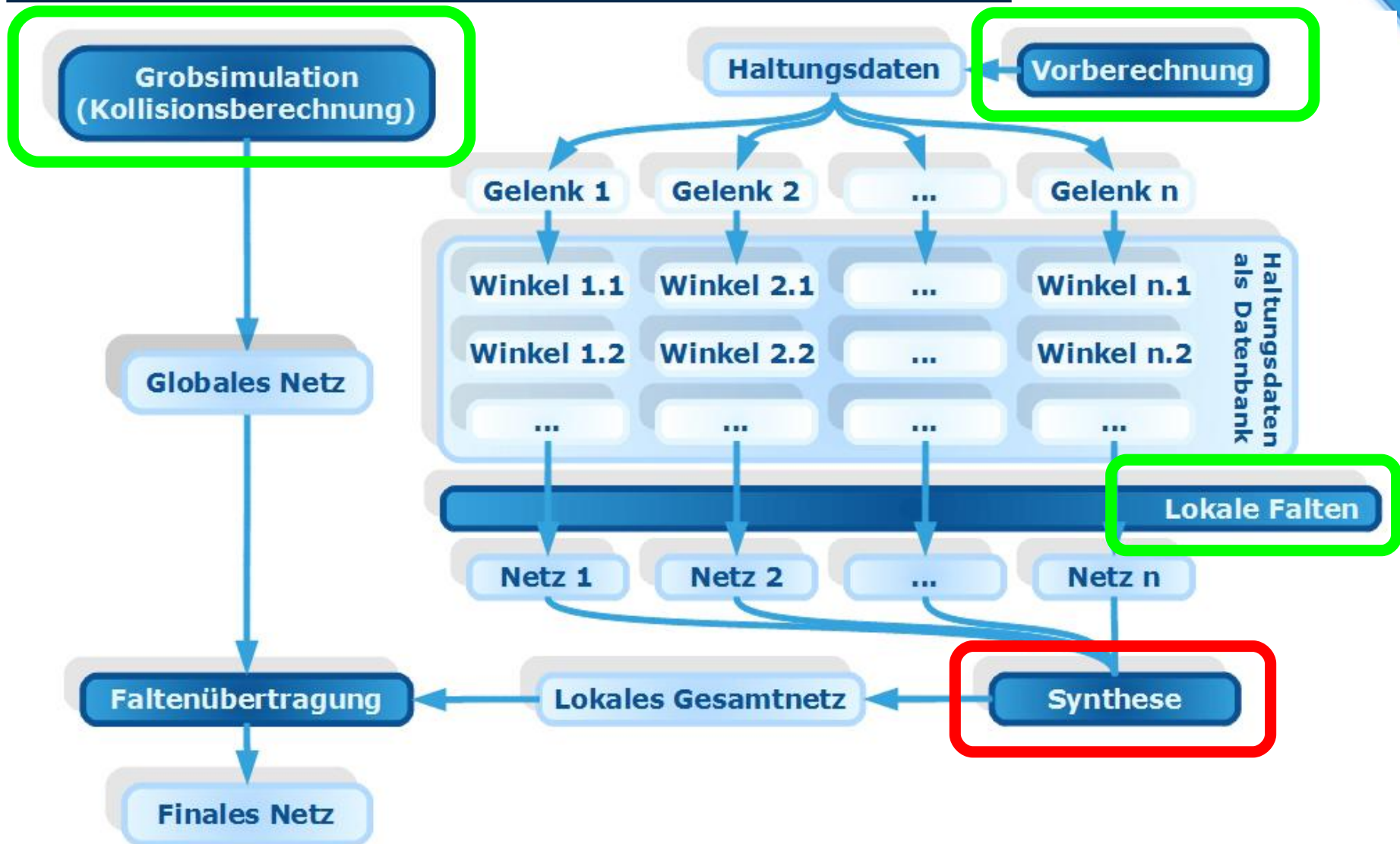
$$p(t) = \underline{q(t)} + ((1-t) * |e_0| + t * |e_1|) * \underline{R(\hat{n}, t\theta)} * \underline{\hat{e}_0}$$



Skizze Scharniergelenk (oben) sowie Kugelgelenk (S. 4)

# Wrinkle Synthesis

## Faltensynthese im Überblick



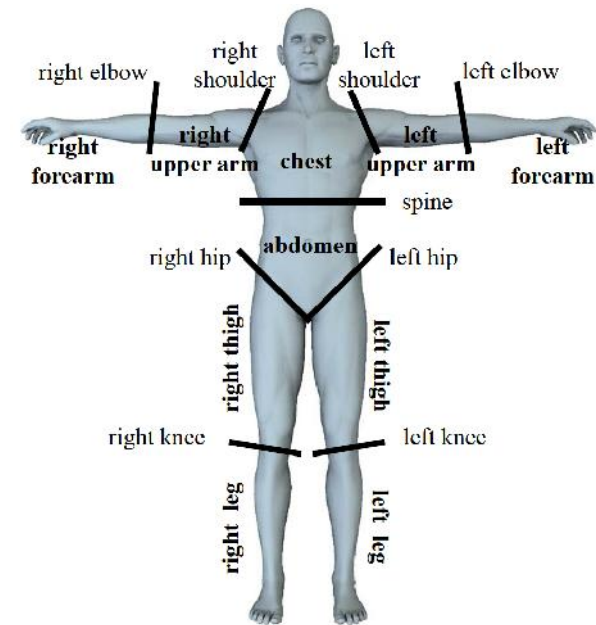


# Wrinkle Synthesis

## Der Algorithmus

- **Faltensynthese – Synthese zu Gesamtnetz**

- Aufteilung des Körpers in Einflussregionen (abhängig von Gelenken)
- Für jeden Kleidungsvertext Gewicht
  - Berechnung Euklidische Entfernung zu angrenzenden Gelenken
  - Berechne Produkt der gelenkfremden Einflüsse
  - Normiere über die Summe aller Einflüsse



**Körperregionen im Überblick (S. 4)**

- **Beispiel Brust:**

$$w_{ls}(v) = \frac{d_a(v)d_r(v)}{d_a(v)d_r(v) + d_a(v)d_l(v) + d_l(v)d_r(v)}$$

$$w_{rs}(v) = \frac{d_a(v)d_l(v)}{d_a(v)d_r(v) + d_a(v)d_l(v) + d_l(v)d_r(v)}$$

$$w_{sp}(v) = \frac{d_l(v)d_r(v)}{d_a(v)d_r(v) + d_a(v)d_l(v) + d_l(v)d_r(v)}$$

*ls* – Linke Schulter

*rs* – Rechte Schulter

*sp* – Rückgrat (Spine)

*d(x)* – Entfernung

*A* – Bauch (Abdomen)

*l* – Linkes Schultergelenk

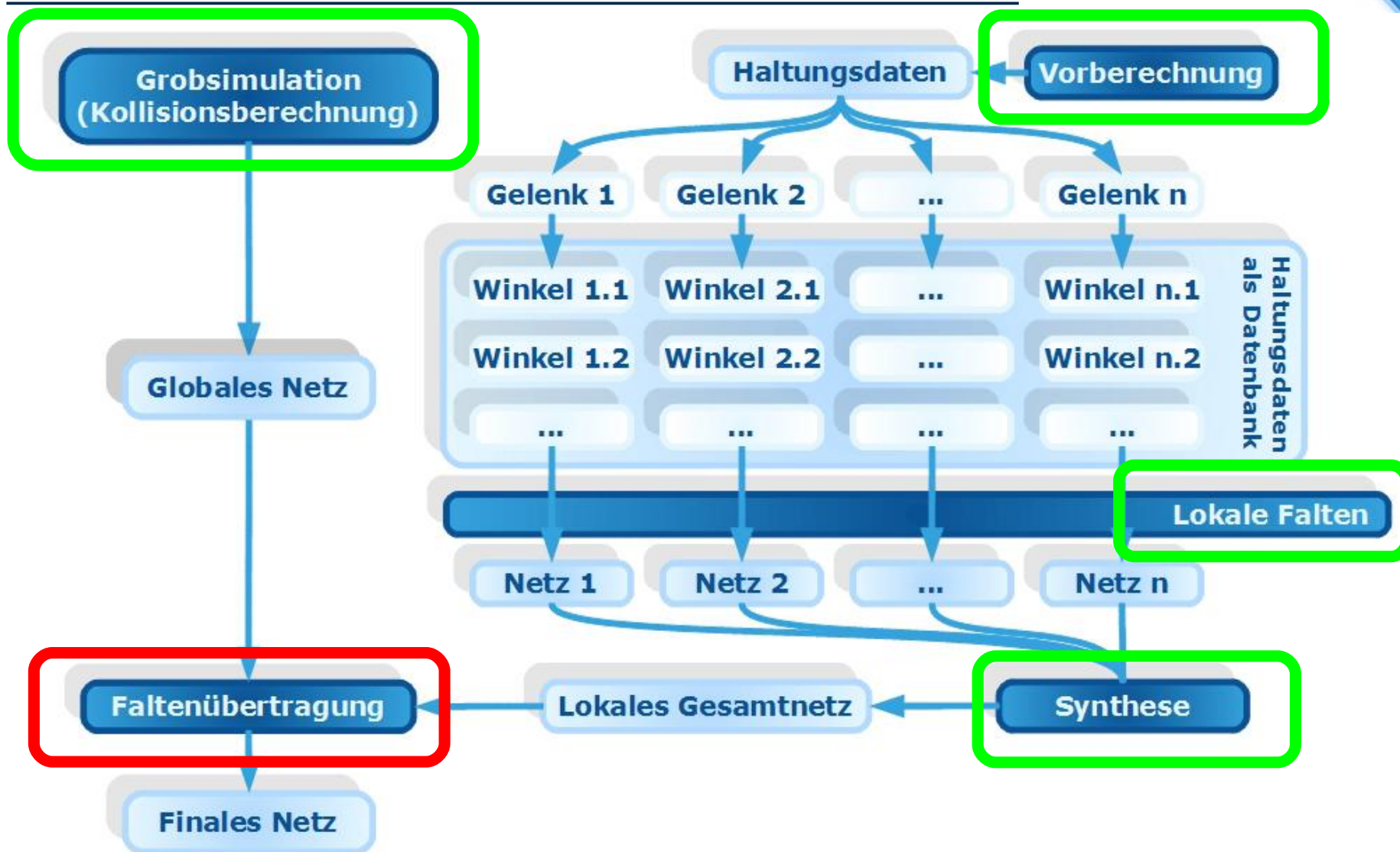
*r* – Rechtes Schultergelenk

$$\text{Brustnetz} = w_{ls} * \text{Netz}_{ls} + w_{rs} * \text{Netz}_{rs} + w_{sp} * \text{Netz}_{sp}$$

- Synthese linear zu den Gewichten

# Wrinkle Synthesis

## Faltensynthese im Überblick



# Wrinkle Synthesis

## Der Algorithmus

- **Faltenübertragung**

- Zwei Ausgangsnetze
  - Hochaufgelöstes lokales Netz mit Falten (nur Gelenke als Einfluss)
  - Niedrigaufgelöstes globales Netz ohne Falten (nur Kollision als Einfluss)
- Vorgehen zur Übertragung:
  - Für Vertex im lokalen Netz (u) Suche nach Vertices des nächstgelegenen Dreiecks im globalen Netz (v) -> Down-Sampling
  - Gewicht a ist Baryzentrische Koordinate dieser Projektion (a = 0, falls Dreieck für Vertex nicht nächstgelegen)
  - Berechnung des Offsets zwischen beiden Netzen mit Normierung
  - Hinzunahme des Offsets zu lokalem Netz ->Up-Sampling

Offset – Berechnung :

$$o(v) = v - \frac{\sum_{u \in M_f} a_{uv} u}{\sum_{u \in M_f} a_{uv}} \equiv v - \frac{\frac{\text{AllePassenden}}{\text{LokalenVertizes}}}{\text{AlleGewichte}}$$

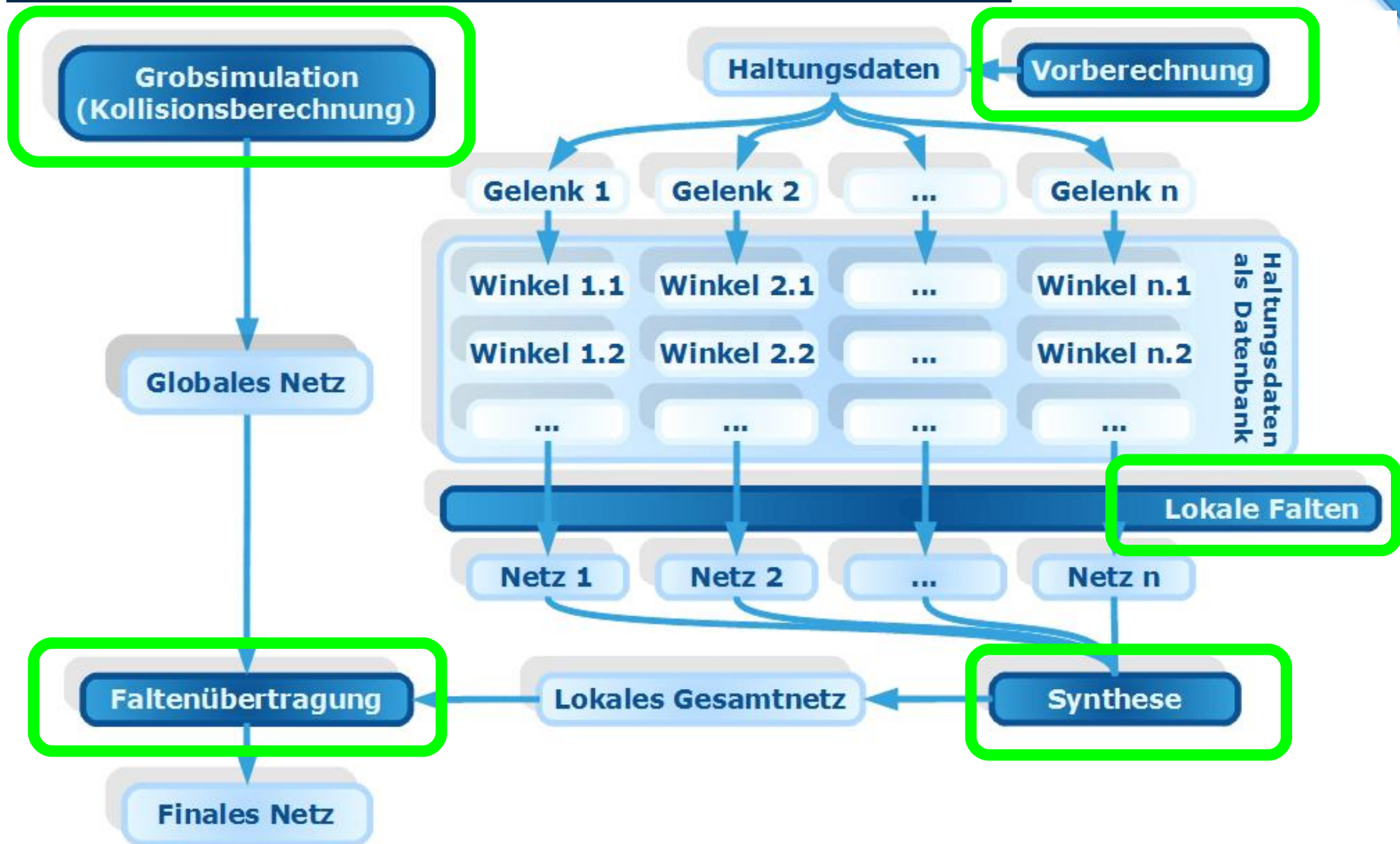
Up – Sampling :

$$u = u + \frac{\sum_{v \in M_c} a_{uv} o(v)}{\sum_{v \in M_c} a_{uv}} \equiv u + \frac{\frac{\text{AllePassenden}}{\text{GlobalenOffsets}}}{\text{AlleGewichte}}$$

- Problem: Übertragene Globale Dreiecke nicht C1 stetig -> Zusätzliches Glätten nötig

# Wrinkle Synthesis

## Faltensynthese im Überblick

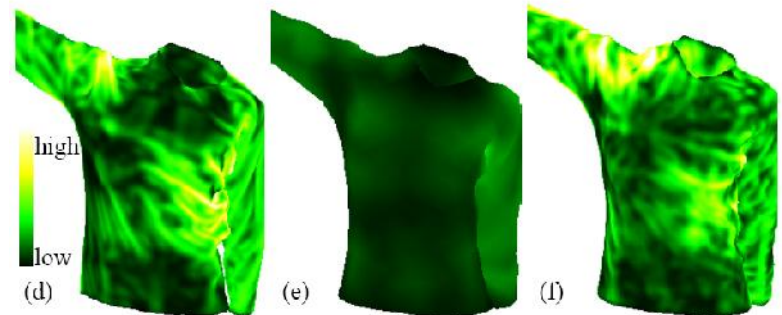
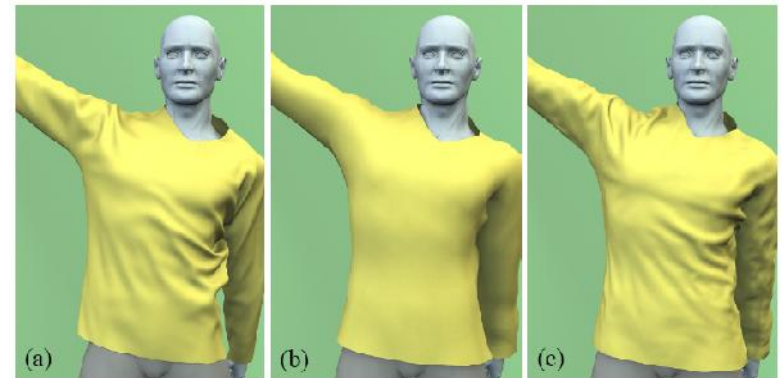




# Wrinkle Synthesis

## Implementierungsdetails / Ergebnisse

- **System: Dual Quad Core 2.26GHz und Nvidia Quadro FX5800**
- **Vorberechnung**
  - 4 Datenbanken für 4 verschiedene Kleidungsstücke
    - Langes Herrenshirt 25k Vertices
    - Lange Männerhose 21k Vertices
    - Kurzes Frauenshirt 23k Vertices
    - Kurze Frauenhosen 11k Vertices
  - Jede Datenbank 2 bis 4 Tage Aufbau (ohne Codeoptimierung)
  - Speicher pro Datenbank 50-100MB
  - Menschliches Modell 30k Vertices
  - Eine Datenbank auf Modell berechnet
    - > Nur für dieses Modell und diese Kleidung geeignete Synthetisierung



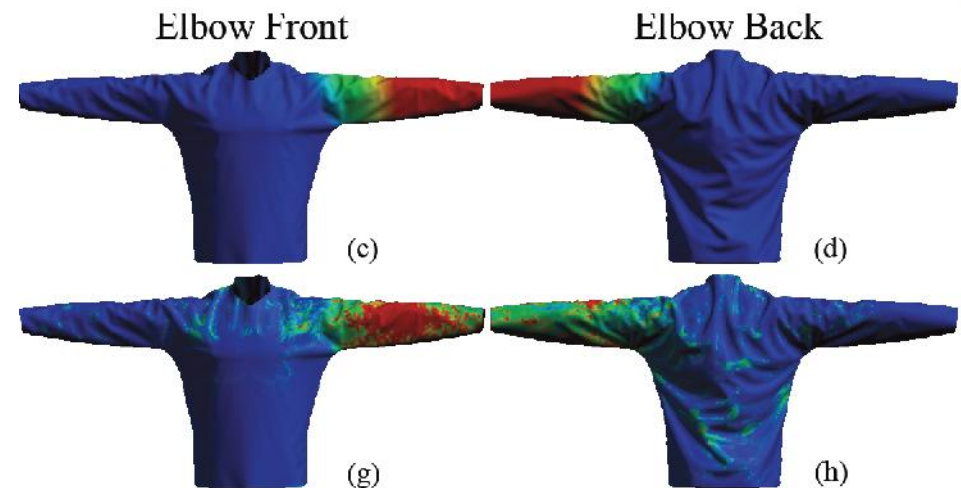
Vergleich der Faltenausprägung (S. 2)

# Wrinkle Synthesis

## Implementierungsdetails / Ergebnisse

- **Grobsimulation der Kleidung**

- Gitternetze zwischen 600 und 800 Vertices
- Kollisionsabfrage mit einfacherem menschlichen Modell 11k Vertices
- Berechnung der groben Shirts, Hosen und des Detail-Transfers in 3 Threads auf CPU
- 4-5 Simulationsschritte pro Frame (bei 1/30 Frame-Intervall)
- Anschließende Synchronisation dringend nötig wegen Stoff-Stoff Kollisionen
- Umsetzung auf GPU schwierig wegen fehlender Koherenz in der Kollisionsabfrage



Vergleich Belastungszonen Simulation (unten) und Faltensynthese (S. 6)

# Wrinkle Synthesis

## Implementierungsdetails / Ergebnisse

- **Faltensynthese**

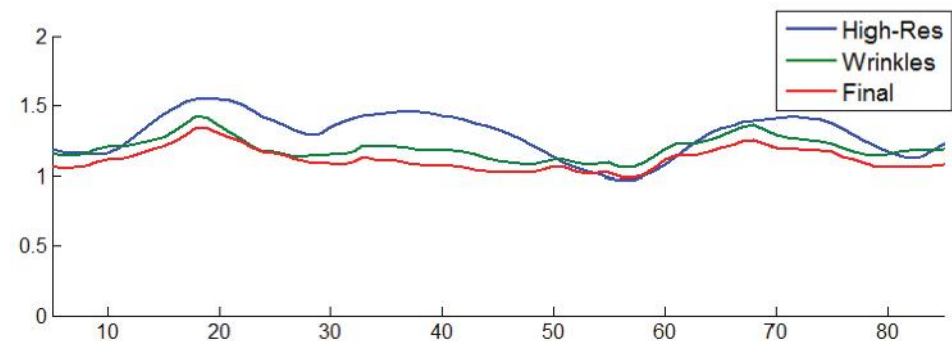
- Komplette Datenbasis in GPU
- Synthese auf GPU und CPU
- Durchschnittliche Geschwindigkeit 12 FPS  
-> Interaktion möglich

- **Animation**

- Jede Quelle für Posen möglich
  - Vorberechnet
  - Interaktiv
- Hier: Motion Capturing
- In allen Fällen dynamische Falten

Name	Processor	Man	Woman
Wrinkle Synthesis	GPU	0.009s	0.008s
Shirt Simulation	CPU	<b>0.074s</b>	-
Pants Simulation	CPU	0.061s	<b>0.078s</b>
Wrinkle Transfer	CPU/GPU	0.072s	0.041s
Total		0.084s	0.086s
Frame Rate		11.93	11.65

Übersicht Rechenaufwand (S. 6)

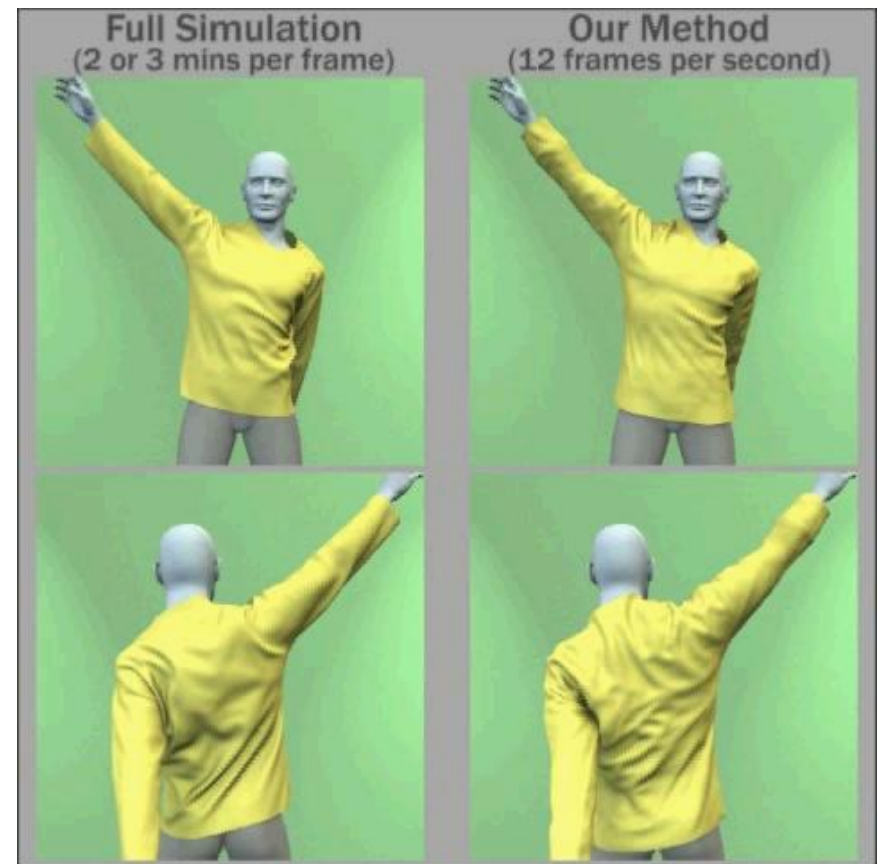


Fluktuation der Falten über 80 Frames (S. 7)

# Wrinkle Synthesis

## Implementierungsdetails / Ergebnisse

- **Grenzen**
  - Generell Qualität nicht so hoch wie bei "richtiger" Simulation
  - Stark vereinfachte Datenbank (nur Gelenkeinfluss)
  - Falten nur mit lokalen Einflüssen
  - Im Vergleich statischer mit mehr Falten
  - Grobsimulation wenig zusätzliche Dynamik
  - Gleiche Haltung = gleiches Ergebnis (kein Einfluss der Zeit)
  - Nur ausreichend für enge Kleidung



Vergleich präzise Simulation und Faltensynthese



# Wrinkle Synthesis

## Fazit und Ausblick

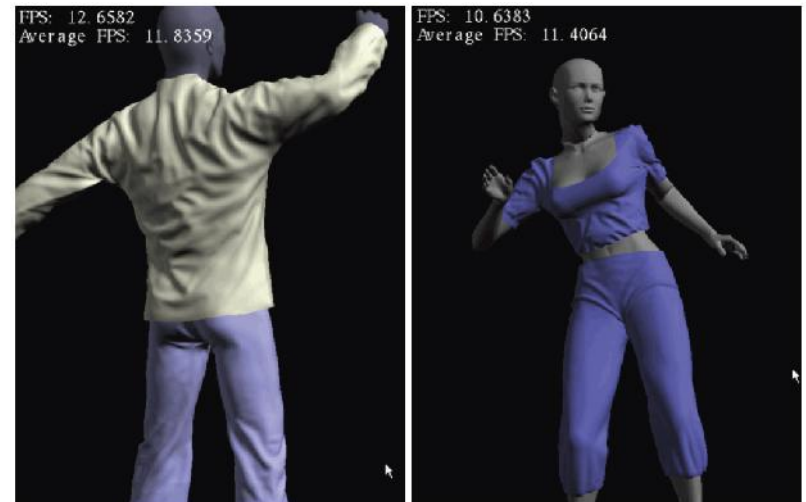
- **Verfahren mit Vor- und Nachteilen**
  - Schnelle und plausible Faltsimulation
  - Stark begrenztes Anwendungsgebiet
  - Ressourcenaufwand noch zu hoch
  - Qualitativ schlechtere Ergebnisse

- **Nötigkeit einer optimierten Implementation zur Ressourcenschonung und Qualitätssteigerung**

-> **Schritt in die Industrie?**

- **Aufweichung der Annahmen bzw. Einschränkungen**

- Größerer Einflussradius der Gelenke?
- Dynamischere Falten durch Zufallseinfluss?



Screenshots aus Echtzeitsimulation (S. 6)

# Wrinkle Synthesis

## Quellen

---

- **Literatur**

- BORDES, J. P., MAHER, M., AND SECHREST, M. 2009. Nvidia apex: High definition physics with clothing and vegetation. In Game Developers Conference.
- PARK, S. I., AND HODGINS, J. K. 2008. Data-driven modeling of skin and muscle deformation. In Proc. of ACM SIGGRAPH 2008, vol. 27, 1–6.
- SELLE, A., SU, J., IRVING, G., AND FEDKIW, R. 2009. Robust highresolution cloth using parallelism, history-based collisions, and accurate friction. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 15, 2, 339–350.
- VASILAKIS, A., AND FUDOS, I. 2009. Skeleton-based rigid skinning for character animation. In Proc. of the Fourth International Conference on Computer Graphics Theory and Applications, 302–308.

- **Bilder**

- Manuel Neuer (Titel): <http://www.merkur-online.de/bilder/2009/06/03/334317/144884162-manuel-neuer.9.jpg>
- Mass Effect 2 (Folie 4): [http://4.bp.blogspot.com/WMzNXerjFNk/TdTSUS3NIWI/AAAAAAAAASg/1oYs3mKcOjI/s1600/mass-effect-2\\_-Tali\\_Shepard\\_Thane.jpg](http://4.bp.blogspot.com/WMzNXerjFNk/TdTSUS3NIWI/AAAAAAAAASg/1oYs3mKcOjI/s1600/mass-effect-2_-Tali_Shepard_Thane.jpg)