

---

# Nutzung von Mehrprozessorsystemen für den routinefähigen Einsatz listmode-basierter Bewegungskorrektur in der PET

J. Langner<sup>1</sup>, P. Bühler<sup>2,1</sup>, C. Pötzsch<sup>1</sup>, J. van den Hoff<sup>2,1</sup>

<sup>1</sup>PET-Zentrum, Forschungszentrum Rossendorf, Dresden

<sup>2</sup>Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Dresden

# Motivation

## Problemstellung

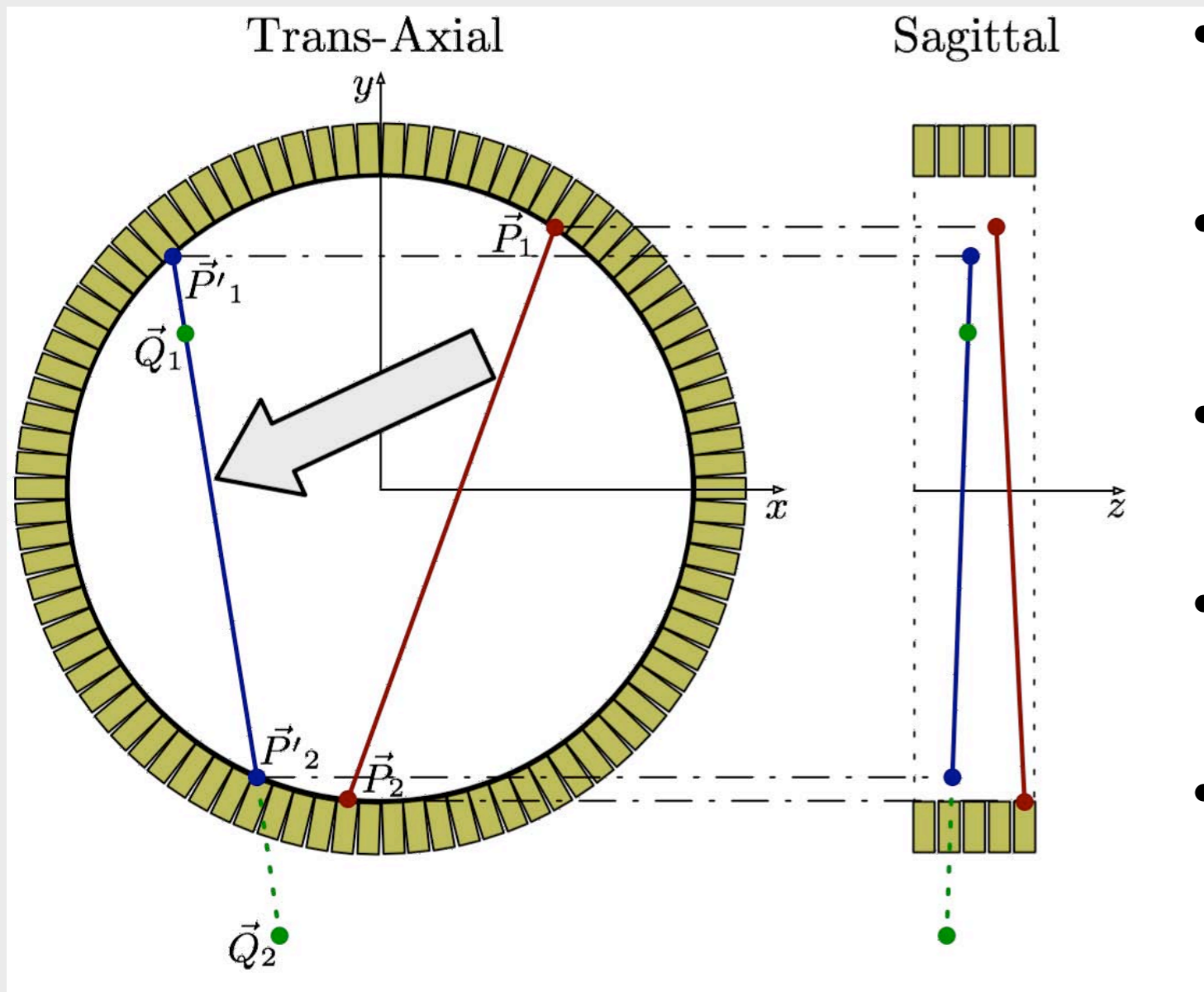
- Patientenbewegungen bei Hirnuntersuchungen sind in der PET unvermeidbar.  
> **Auflösungsverlust/Bildartefakte**
- Verbesserung durch Einsatz *Listmode-basierter Bewegungskorrektur* [1].
- Bisher schlossen der Berechnungsaufwand und die Komplexität eine Routinenutzung aus.  
> **Bsp: ~20h Berechnung für 1h dynamische PET Aufnahme**

## Hypothese

- Durch Parallelisierung auf Mehrprozessorsysteme und Optimierung kann die Bewegungskorrektur routinefähig beschleunigt werden.
- Implementierung einer graphischen Oberfläche ermöglicht die direkte Nutzung durch MTAs.
- Objekt-orientierte und platform-unabhängige Softwareentwicklung in C++

[1] P. Bühler, et al., An accurate method for correction of movement in PET, IEEE Med. Img., 2004, accepted.

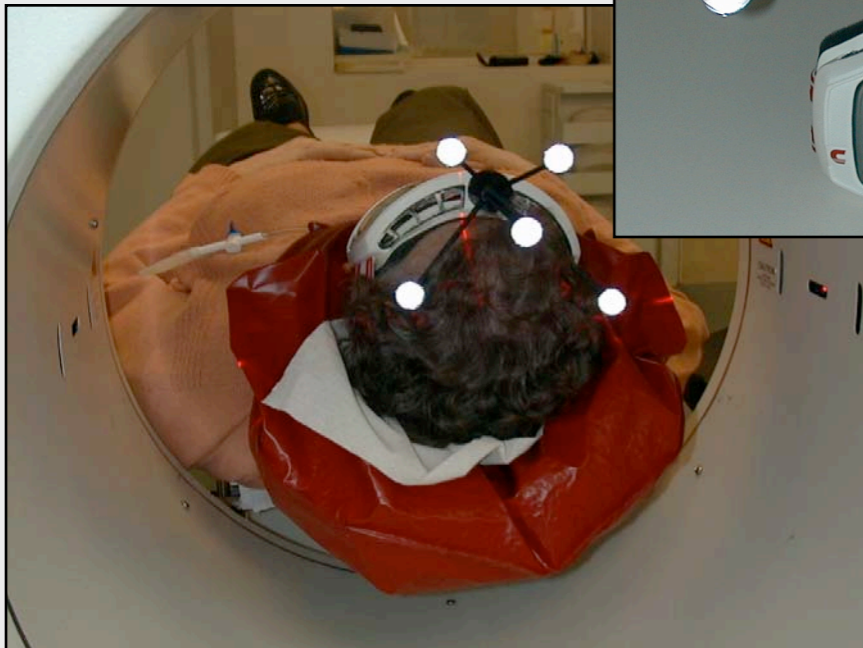
# Listmode-basierte Bewegungskorrektur



- In vorherigen Studien am FZR entwickelt. [1]
- Aufnahme im *Listmode* Verfahren > Hier: ECAT Exact HR+
- Registrierung jeder LOR (Line-of-Response)
- Räumliche Korrektur jeder einzelnen LOR
- Nachträgliches einsortieren in Sinogramm

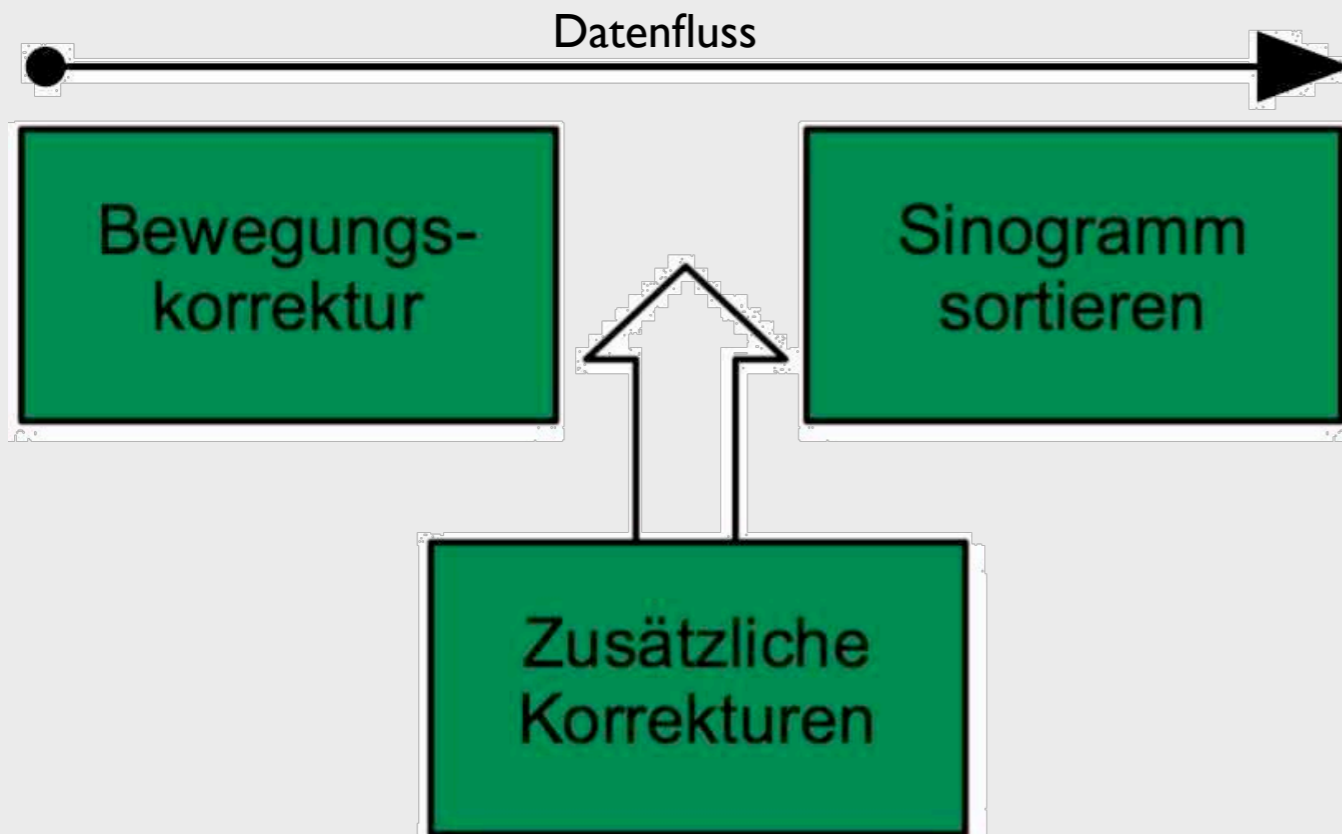
[1] P. Bühler, et al., An accurate method for correction of movement in PET, IEEE Med. Img., 2004, accepted.

# Kameragestütztes Tracking



- Passives Bewegungstrackingsystem (Firma A.R.T. Tracking)
- Integrierte Infrarotblitze
- Passive Markeranordnungen (Bodies) reflektieren das Licht
- Bestimmung der 3D Position durch stereoskope Anordnung
- Räumliche Auflösung  $< 1\text{mm}$ , maximale Abtastrate  $\sim 60\text{Hz}$

# Komponenten - Bewegungskorrektur



- Drei Hauptkomponenten
- Zusätzlich notwendige Korrekturen gleichen auftretende Artefakte aus
  - > Normalisierungs Korrektur
  - > LOR-Diskretisierungs Korrektur
  - > Out-of-FOV Korrektur
- Out-of-FOV Korrektur stellt den größten Berechnungsaufwand

# Parallelisierungsanalysen

*Amdahl's Law* (1967):

$$S(N) = \frac{1}{f + \frac{1-f}{N}}$$

mit  $f > 0$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} S(N) = 1/f$$

$S(N)$  - Zu erwartende Geschwindigkeitssteigerung  
 $f$  - Sequentieller Anteil  
 $N$  - Anzahl Prozessoren

- Geschwindigkeitssteigerung vom sequentiellen Anteil abhängig

- Abhängigkeitsanalysen müssen parallelisierbare Bereiche aufzeigen

> **schrittweise Parallelisierung**

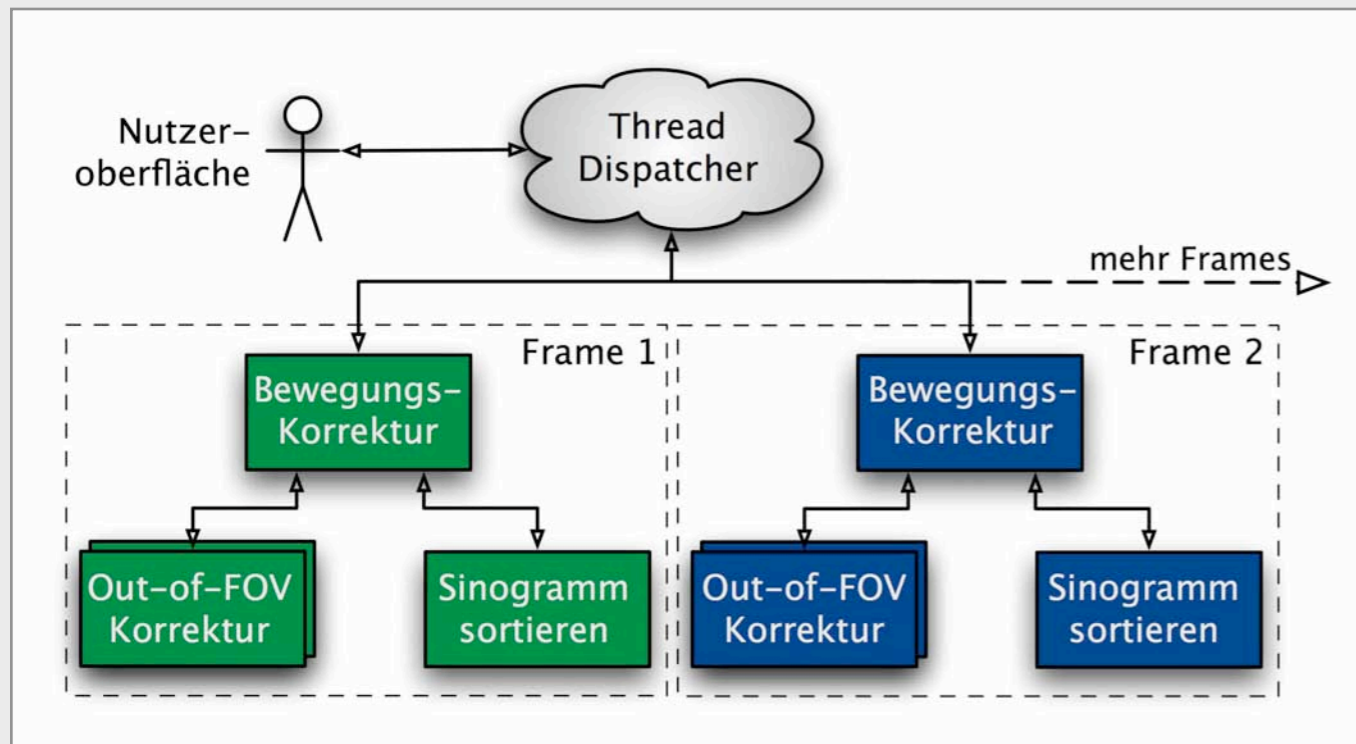
- Out-of-FOV Korrektur erwies sich als sehr gut parallelisierbar

- Bei dynamischen Studien können Frames parallel korrigiert werden

> **zusätzliche Steigerung**

[1] G.M.Amdahl. Validity of single-processor approach to achieving large-scale computing capability. Proceedings of AFIPS Conference, Reston 1967.

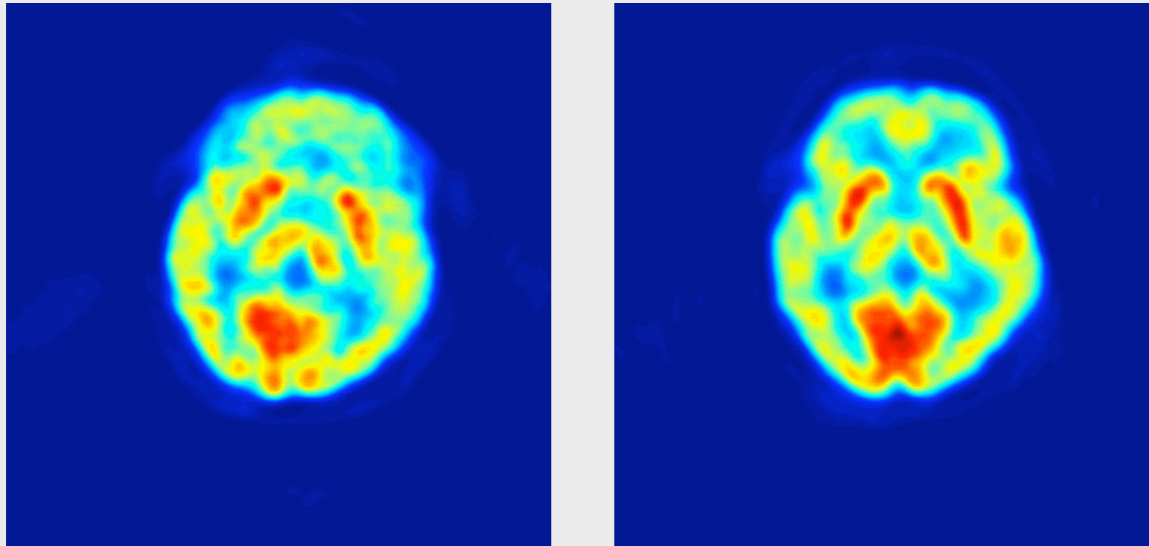
# Multithreading Implementierung



- Zentraler „Dispatcher“ steuert einzelne Threads
- Implementation als standard POSIX Threads
- Ermöglicht automatisches Verteilen auf mehrere Prozessoren
- Kompatibel zu gängigen Mehrprozessorsystemen (Solaris™/Linux/MacOSX etc.)

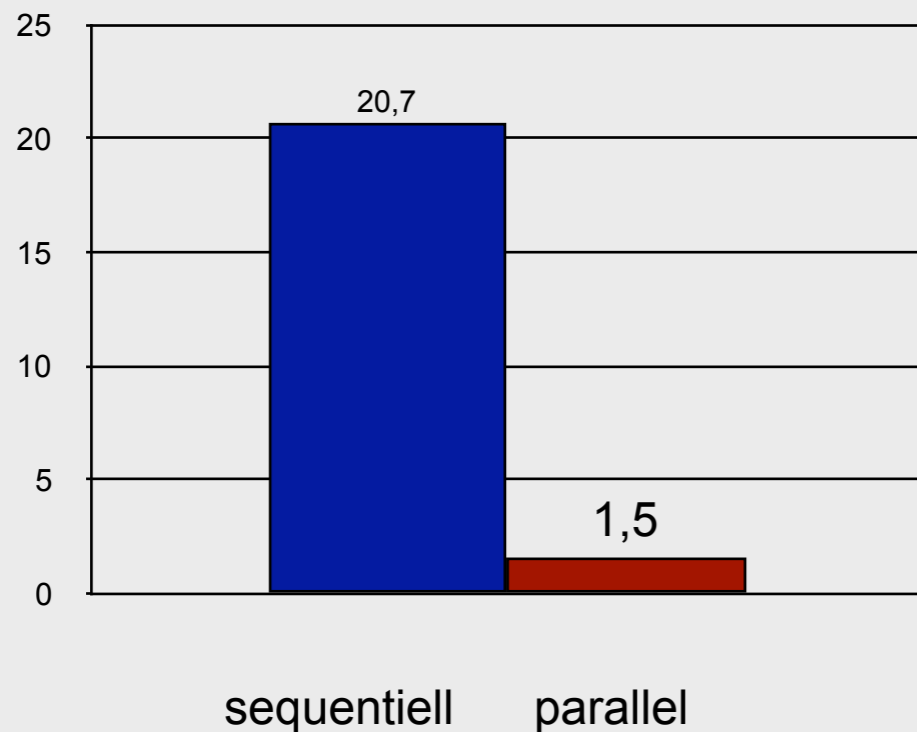
# Ergebnisse

Vergleich unkorrigiert (links) zu korrigiert (rechts):

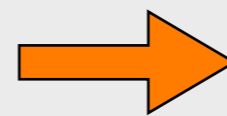


- ✓ Verbesserung der räumlichen Auflösung
- ✓ Rekonstruktion mit Standardsoftware (ECAT HR+) möglich.
- ✓ Implementierungen für Solaris™, Linux & MacOSX

Bsp: Berechnungszeit für 1h PET Aufnahme:



- ✓ Portable graphische Oberfläche

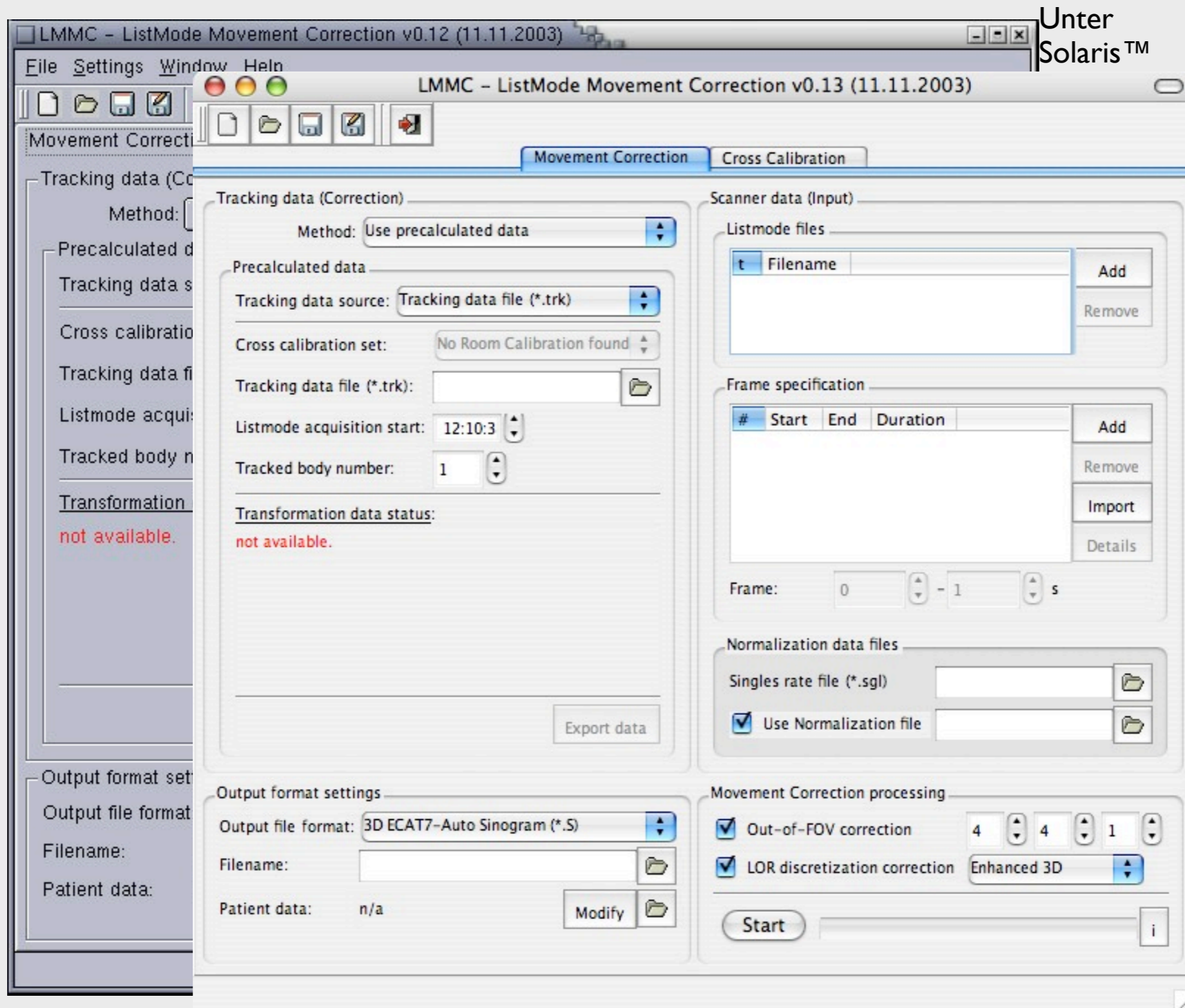


**Beschleunigung um  $\emptyset$  ~9x**  
Minimierung der Berechnungszeit auf ein routinefähiges Maß.

Bsp: 4x900MHz UltraSPARC-III unter Solaris™ 9



# Graphische Oberfläche mit QT (Firma Trolltech)



Unter Solaris™

Unter MacOSX

# Zusammenfassung/Ausblick

---

- ✓ Das Potential von Mehrprozessorsystemen wird oftmals in der Medizin nicht effektiv ausgeschöpft bzw. unterschätzt.
  - ✓ Durch Parallelisierung/Optimierung der Bewegungskorrektur kann diese effektiv auf Mehrprozessorsystemen verteilt werden.
  - ✓ Die erzielte Geschwindigkeitssteigerung und die Bedienung durch eine graphische Oberfläche lassen eine Routinenutzung durch MTAs zu.
- 
- Durch Verteilen der Berechnungen auf mehrere Rechner (Cluster) soll die Geschwindigkeit weiter gesteigert werden.
  - In weiteren Studien soll die Geschwindigkeit auf Echtzeitfähigkeit geprüft werden und eine Online-Bewegungskorrektur zulassen.