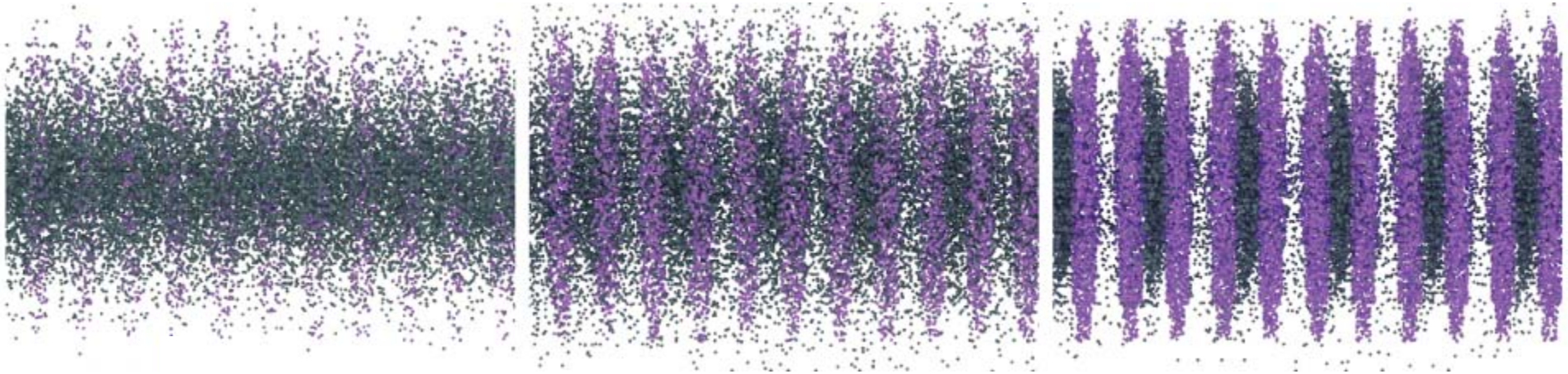


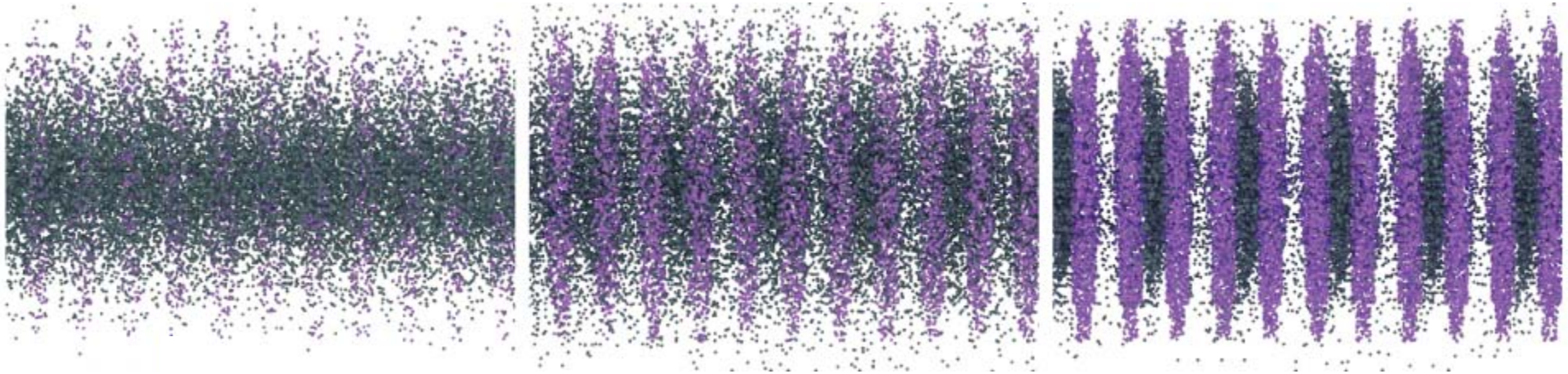
Freie-Elektronen-Laser



Allgemein

- Verstärker für Licht
- Medium und Energiequelle: freie Elektronen
- periodische Anordnung der Elektronen
 - ... aus dem Rauschen oder aufgeprägt (*seeding*)
 - ... sich selbst verstärkend (Instabilität)
 - ... kohärente Emission von Licht

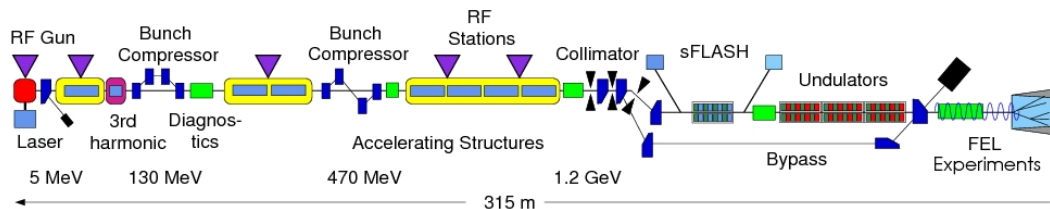
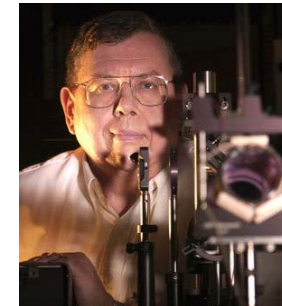
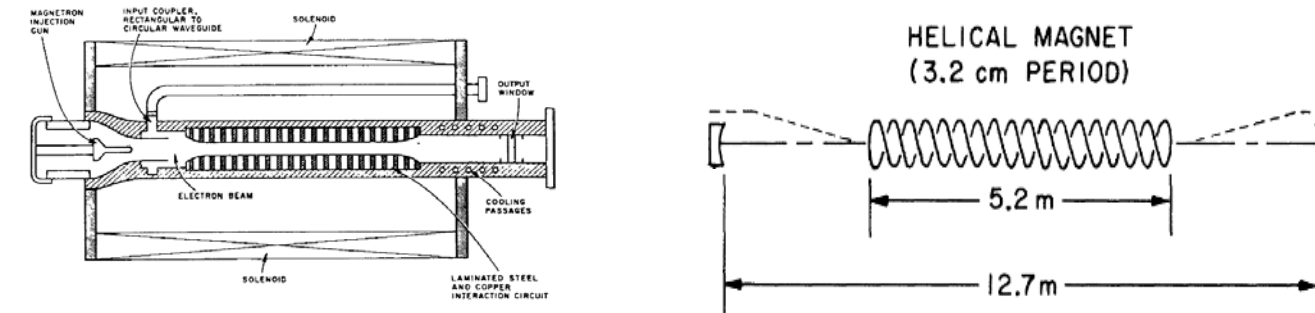
Freie-Elektronen-Laser



FEL-Strahlung

- **hohe Intensität (Brillanz)**
- **kurze Pulsdauer**
- **hoher Kohärenzgrad**
- **einstellbare Wellenlänge (Fern-IR, VUV, Röntgen)**
- **schmalbandig**

Freie-Elektronen-Laser



Geschichte

- Vorläufer: Ubitron um 1960 (mm-Wellen)
- Erfindung: J. M. J. Madey 1971
- Erster FEL (3 μ m): D. A. G. Deacon et al. 1977
- SASE-Prinzip: A. M. Kondratenko, E. L. Saldin 1980
- Erster VUV-SASE-FEL (109 nm): TTF, DESY 2000
- Erster Röntgen-FEL (0,15 nm): LCLS, SLAC 2009
- *Seeding* (65-20 nm): FERMI@Elettra 2012

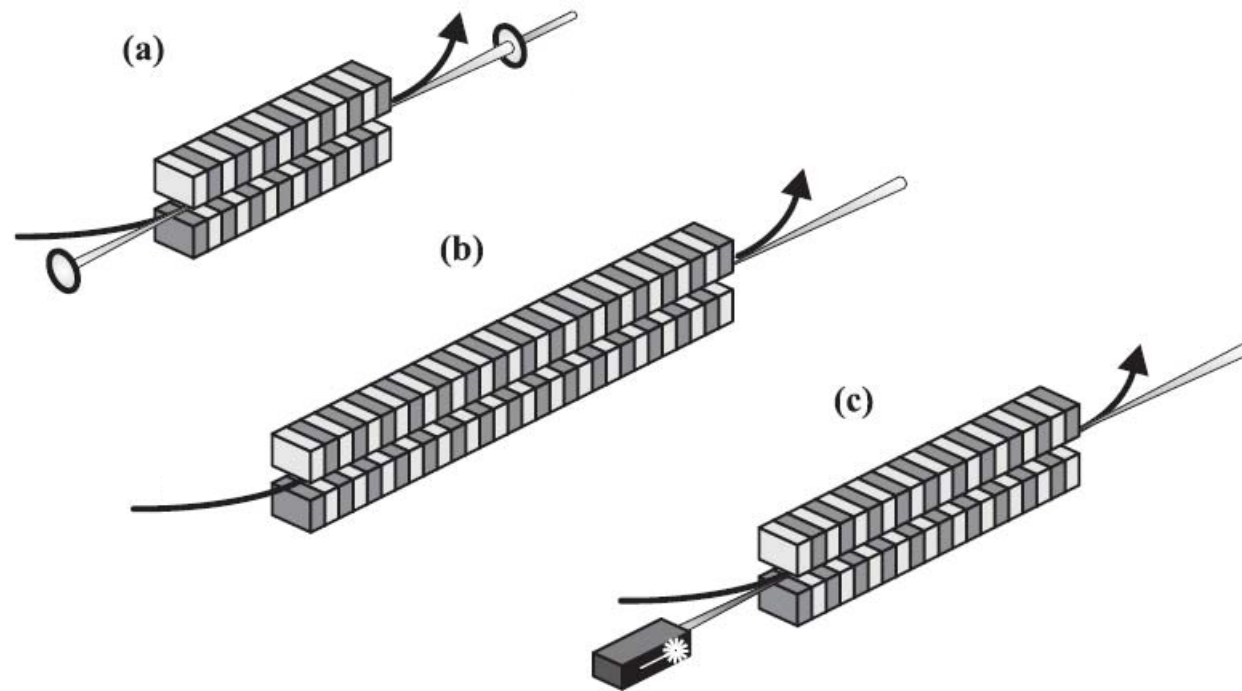
FEL-Typen

(a) *low-gain-FEL*

- Undulator mit optischem Resonator
- Speicherring oder Linearbeschleuniger

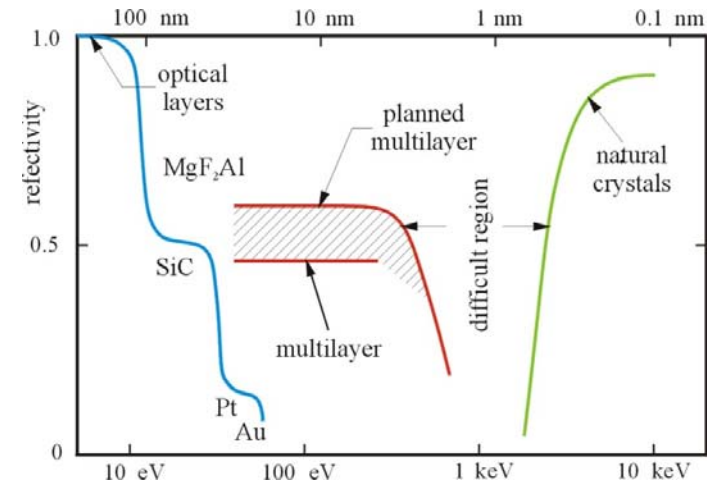
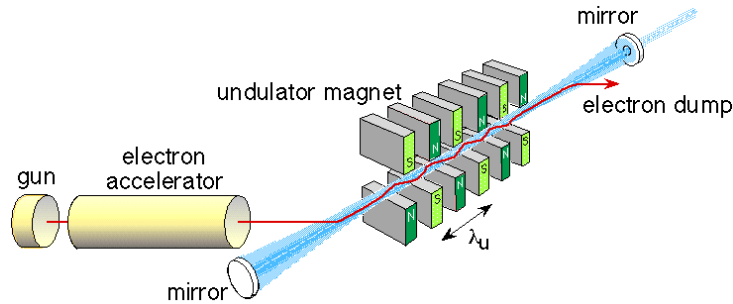
(b) *high-gain-FEL*

- langer Undulator ohne Spiegel
- Linearbeschleuniger
- SASE-Prinzip oder *seeding* (c)



Low-gain-FELs

- FEL-Oszillatoren
- Wellenlänge durch Spiegel begrenzt

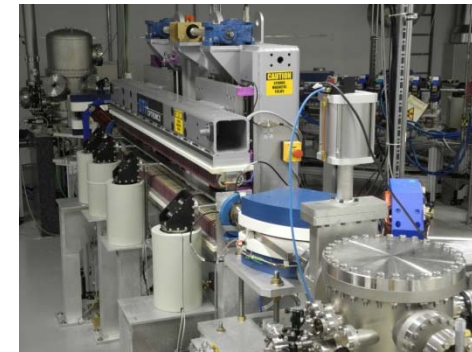
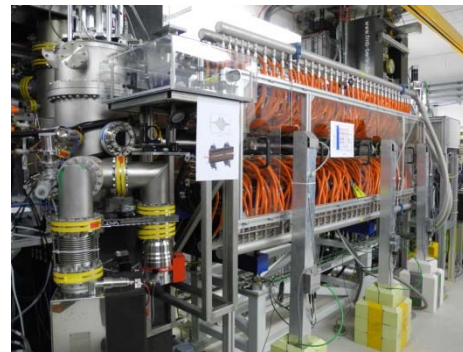


Low-gain-FEL

(XFEL)

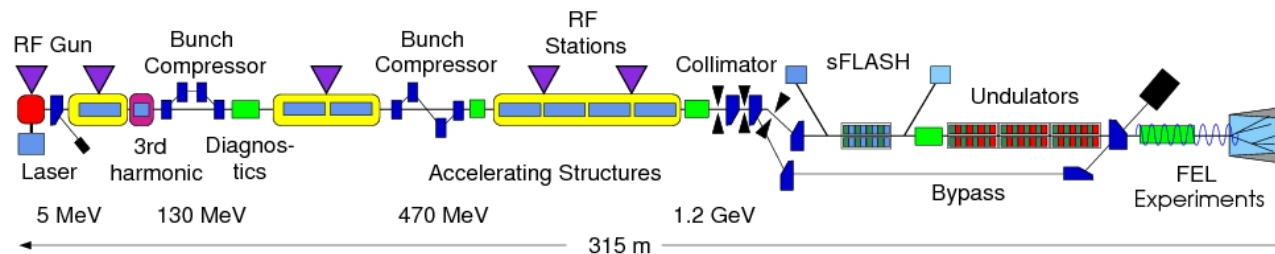
In Deutschland:

- FEL am S-DALINAC, TU Darmstadt 1996 (7 μm)
- FELICITA bei DELTA, TU Dortmund 1999 (470/420 nm)
- FELBE am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf 2004 (5-125 μm)
- FHI FEL am Fritz-Haber-Institut Berlin 2012 (3-60 μm)



High-gain-FELs

- langer Undulator, nur ein Durchlauf



Weltweit:

- **FLASH**, DESY Hamburg/D 2000 (109-4,2 nm)
- **LCLS**, SLAC Menlo Park/USA 2009 (0,15 nm)
- **FERMI**, Elettra Trieste/Italien 2010 (20/4 nm)
- **SACLA**, SPring8 Harima/Japan 2011 (0,08 nm)
- **PAL-XFEL**, Pohang/Korea 2016 (0,1 nm)
- **DCLS**, Dalian/China 2016 (50 nm)
- **European XFEL**, Hamburg 2017 (0,05 nm)
- **SwissFEL**, PSI Villigen/Schweiz 2017 (0,1 nm)



zukünftig

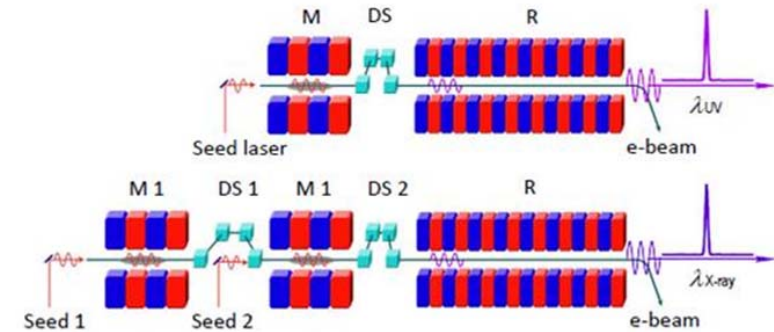
- **SXFEL**, Shanghai/China
2018 (8 nm)
- **LCLS-II**, Menlo Park/USA
2020 (0,05 nm)



Forschungsfelder

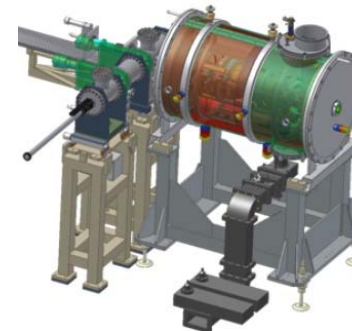
FEL-Prinzipien

- SASE vs. XFEL
- Seeding (direkt, HGHG, EEHG, self-seeding)



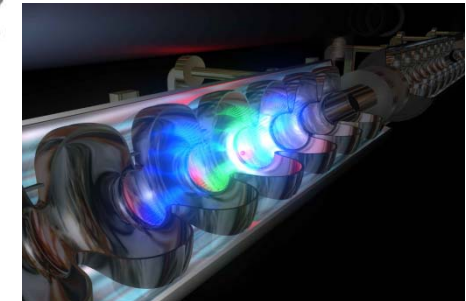
Elektronenquelle

- HF-Photoinjektor (Ausnahme: SACLA)
- andere Mechanismen (z.B. Feldemission)
- kleinere Emittanz
- Pulsformung mit Laser
- höhere Repetitionsrate (supraleitend)



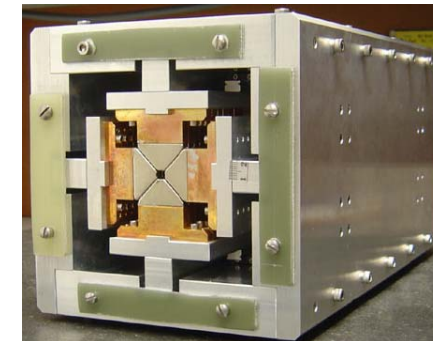
Beschleuniger und Kompressoren

- höherer Gradient, höhere Stabilität
- höhere Repetitionsrate, Pulsfolge, Wechsel zwischen Strahllinien
- anderes Prinzip (Laser-Plasma-Beschleuniger, ERL)
- Strahldynamik, Instabilitäten



Undulatoren

- Polarisation (planar/elliptisch, neue Designs)
- kompakter (In-Vakuum, kryogenisch gekühlt, supraleitend)
- andere Prinzipien der Strahlungserzeugung



Diagnose und Kontrolle

- Strahlage, Emittanz, optische Funktionen
- Strahlenergie, Pulsdauer, Pulsform, Ankunftszeit
- Steuer- und Feedback-Systeme, künstliche Intelligenz

Synchronisation

- Femtosekunden- und Attosekunden-Niveau
- Frequenzgeneratoren (HF, Faserlaser)
- Transport und Umsetzung von Zeitsignalen

Kürzere Pulse, longitudinale Kohärenz

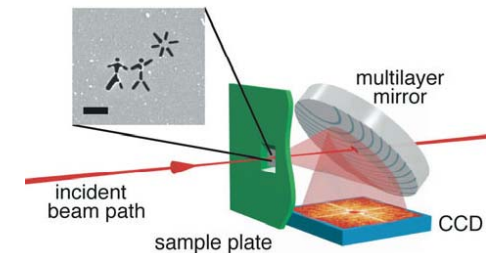
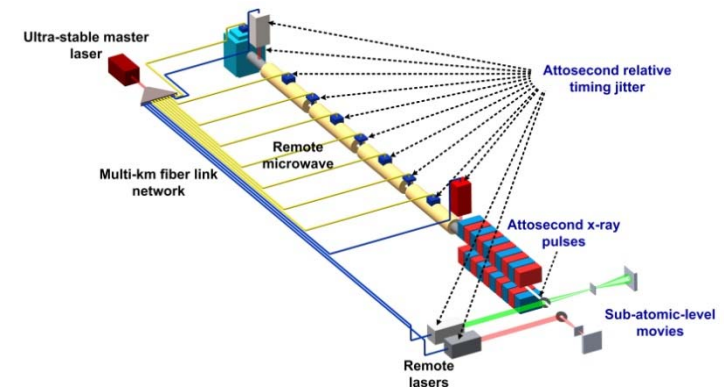
- Elektronenpakete mit kleiner Ladung
- Seeding mit Attosekunden-Pulsen

Instrumentierung der Strahllinien

- Proben
- Detektoren und Spektrometer
- abbildende Systeme, Tomografie, Holografie, Phasenkontrast

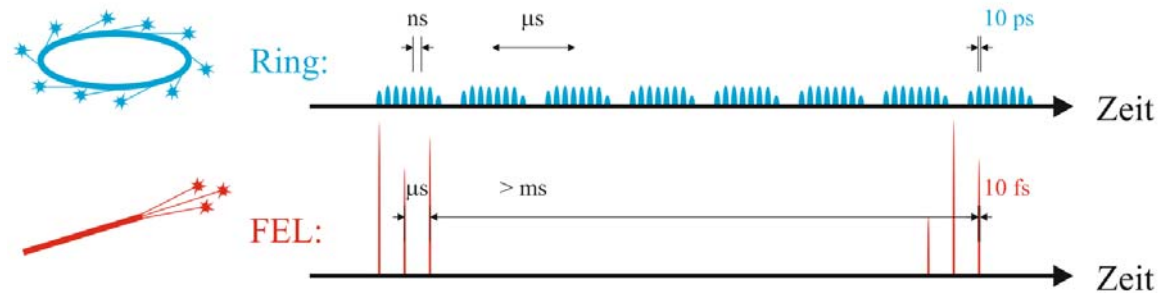
Laser

- Photoinjektor, Synchronisation, Seeding, Diagnose, pump-probe, Beschleunigung
- Repetitionsrate, Pulsfolge
- Qualität, Stabilität
- Pulsdauer, Pulsform



Zusammenfassung

FELs und Speicherringe sind komplementäre Maschinen



Ziele für die nähere Zukunft z.B. nächste BMBF-Antragsrunde

- fast alles

Strategische Fernziele

- hohe Repetitionsrate von Quelle, Beschleuniger, Laser, Detektoren
- XFEL
- Pulsdauern und Synchronisation auf Attosekunden-Niveau
- andere Beschleunigungsmethoden

Wechselwirkung mit anderen Themen

- Nutzer-Input
- Elektronenquellen, Linearbeschleuniger, supraleitende HF
- THz-Quellen
- Laser-Plasma-Beschleuniger
- Diagnose, Synchronisation, *machine learning*