

Methodenentwicklung und Analyse an LHC-Experimenten und Belle II, Betrieb ATLAS und CMS

Johannes Haller

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

KET-Strategie-Workshop, 18./19.November 2022, Bad Honnef



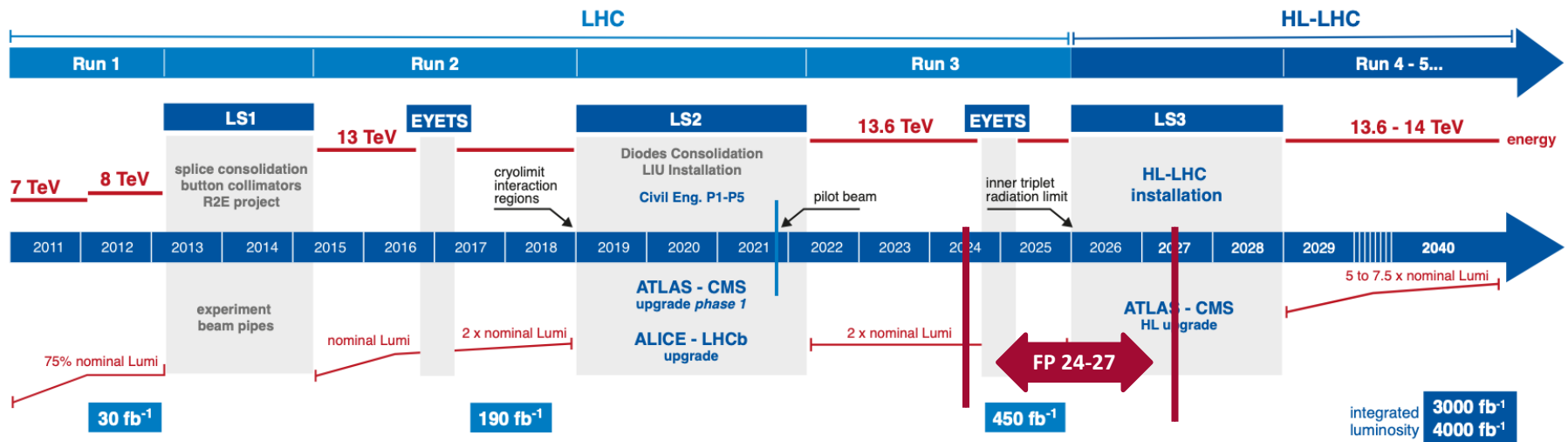
Disclaimer

- 15' ...
- mit Input von Stephanie Hansmann-Menzemer, Arnulf Quadt, Thomas Kuhr, Lutz Feld → Vielen Dank!

Inhalt:

- Collider-Zeitpläne und Physik
- KET-Input und European Strategy
- teilnehmende Institute
- Betrieb von ATLAS und CMS
- Methodenentwicklung/Analyse
- übergreifende Aspekte

LHC-Zeitplan



eher ~300 fb⁻¹

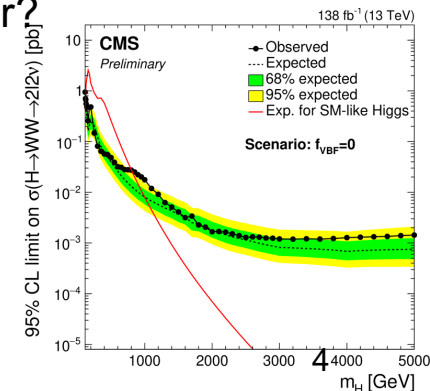
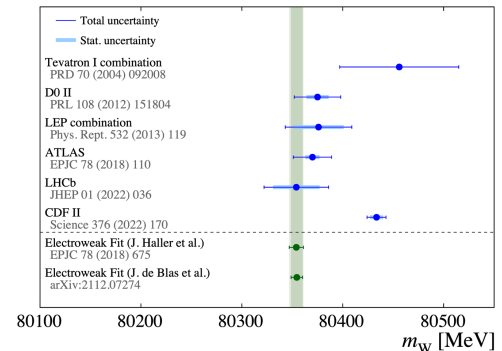
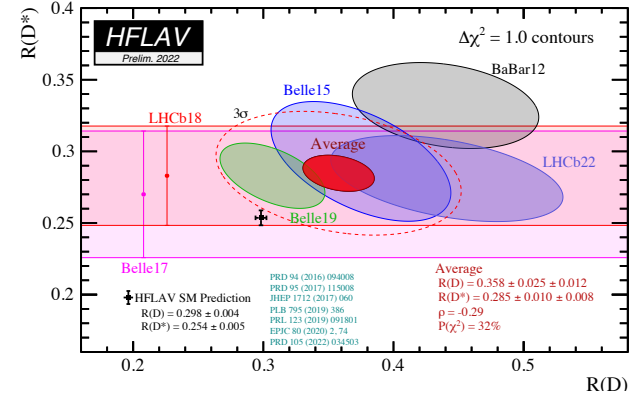
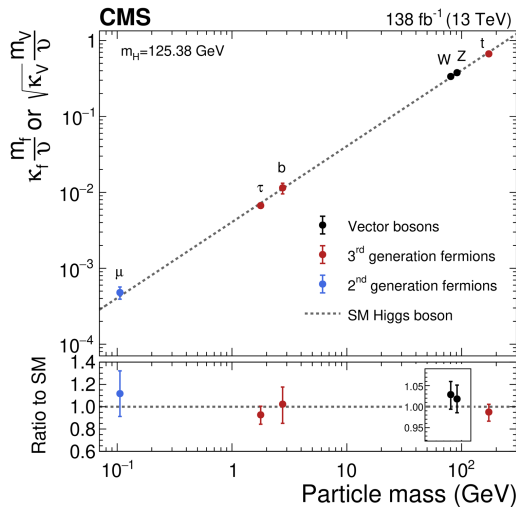
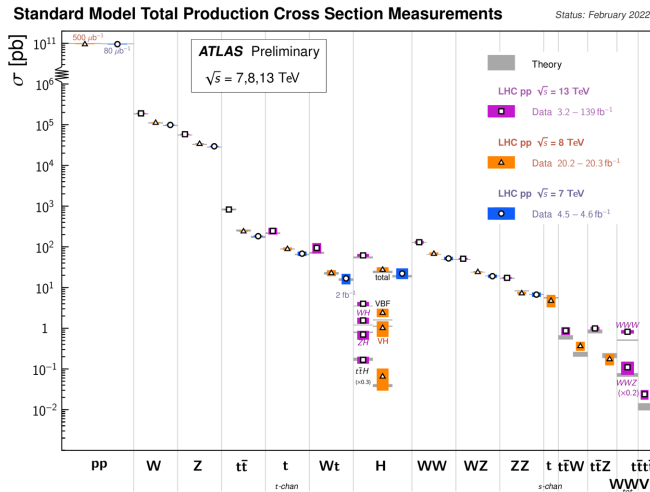
■ neue Unwägbarkeiten

- einzelne Runs kürzer (Energiesparen), ie. weniger Lumi, weniger Computing von IT?
- unklare Lage durch globale Situation, Russland/Ukraine-Konflikt, ...

■ vorraussichtliche Aufgaben in der neuen FP (07/2024-06/2027):

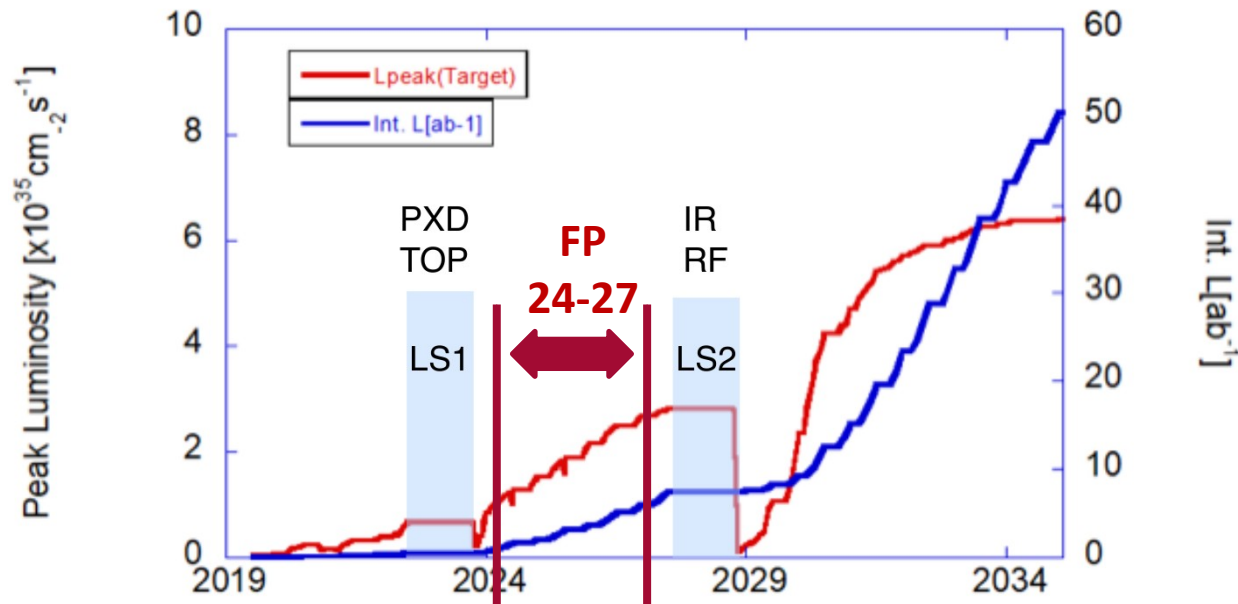
- Betrieb der Detektoren in Run-3
- Methodenentwicklung (Kalibration/SW-Tools/PileUp/Reco/Trigger/...)
 - für laufenden Run-3, aber auch schon Vorbereitung Run-4 (HL-LHC)
- Analyse der Run-3-Daten, Kombinationen (frühere Datensätzen, zw. Exp.)
 - in Teilen: letzte Analysen der Run-2-Daten (?)

Physik-Motivation LHC

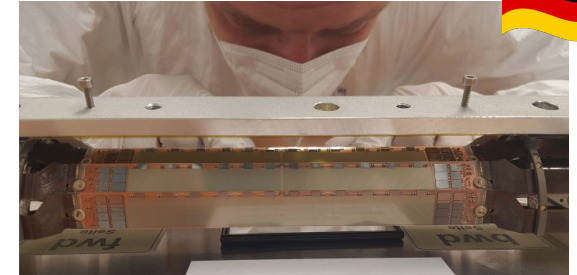


- detaillierte Überprüfungen des SM
 - e.g. genauer, differentieller (double, triple,...), EFT
- Vermessungen der Higgs-Kopplungen
 - Präzision, zweite Gen., STXS, differentiell, extended Higgs-Sektor?
- höhere Sensitivität: seltene Prozesse/ höhere Massen
 - e.g. Spektroskopie, seltene Zerfälle, BSM bei hohen Massen, ...
- Überprüfen von interessanten Auffälligkeiten
 - B -Anomalien, m_W , signal-artige Abweichungen aus Run-2, ...

SuperKEKB: Zeitplan, Physik



Einbau des PXD2 im LS1



höhere Lumi

→ höhere Spurbelegung

→ komplette 2. Lage notw.

- neue FP fällt in den Run-2 von SuperKEKB
- Aufgaben der deutschen Gruppen:
 - Betrieb, vor allem Inbetriebnahme PXD2 → siehe Vortrag Kuhr
 - Methodenentwicklung (Event-Reko, Kalibration, SW-Frameworks, Trigger, ...)
 - Datenanalyse (Run1, Run2, Kombination): B-Anomalien, Tau-Leptonen, Dark-Sektor-Suchen, Hadron-Spektroskopie

Kontext: European Strategy Update

- Als Input zur ESU hatten wir diesen Aktivitäten bereits die allerhöchste Priorität eingeräumt: (auch)

The physics potential of the experiments at the LHC and its upgrade, the HL-LHC, as well as at SuperKEKB must be fully exploited.

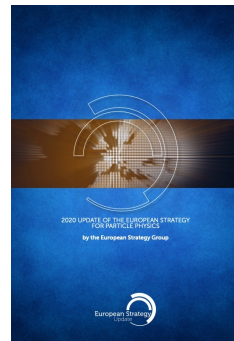
- Sie erscheinen auch an vielen Stellen der ESU

1

A. Since the recommendation in the 2013 Strategy to proceed with the programme of upgrading the luminosity of the LHC, the HL-LHC project, was approved by the CERN Council in June 2016 and is proceeding according to plan. In parallel, the LHC has reached a centre-of-mass energy of 13 TeV, exceeded the design luminosity, and produced a wealth of remarkable physics results. Based on this performance, coupled with the innovative experimental techniques developed at the LHC experiments and their planned detector upgrades, a significantly enhanced physics potential is expected with the HL-LHC. The required high-field superconducting Nb₃Sn magnets have been developed. The successful completion of the high-luminosity upgrade of the machine and detectors should remain the focal point of European particle physics, together with continued innovation in experimental techniques. The full physics potential of the LHC and the HL-LHC, including the study of flavour physics and the quark-gluon plasma, should be exploited.

4

A. The quest for dark matter and the exploration of flavour and fundamental symmetries are crucial components of the search for new physics. This search can be done in many ways, for example through precision measurements of flavour physics and electric or magnetic dipole moments, and searches for axions, dark sector candidates and feebly interacting particles. There are many options to address such physics topics including energy-frontier colliders, accelerator and non-accelerator experiments. A diverse programme that is complementary to the energy frontier is an essential part of the European particle physics Strategy. Experiments in such diverse areas that offer potential high-impact particle physics programmes at laboratories in Europe should be supported, as well as participation in such experiments in other regions of the world.



- erhebliches deutsches Engagement in Betrieb und Methodenentwicklung/ Physikanalysen der laufenden Collider-Experimente
auch in der neuen FP !

Liste der Institute in D (ohne Theo.)

- Fortführung der vier BMBF-ErUM-FSPs wird anvisiert



- HU Berlin
- Uni Bonn
- TU Dortmund
- Uni Dresden
- Uni Freiburg
- Uni Gießen
- Uni Göttingen
- Uni Heidelberg
- Uni Mainz
- LMU München
- TU München
- Uni Siegen
- Uni Wuppertal
- Uni Würzburg
- MPP München
- DESY



- RWTH Aachen
- Uni Hamburg
- KIT Karlsruhe
- CASUS/Görlitz
- DESY



- RWTH Aachen
- TU Dortmund
- Uni Bonn
- MPIK Heidelberg
- Uni Heidelberg



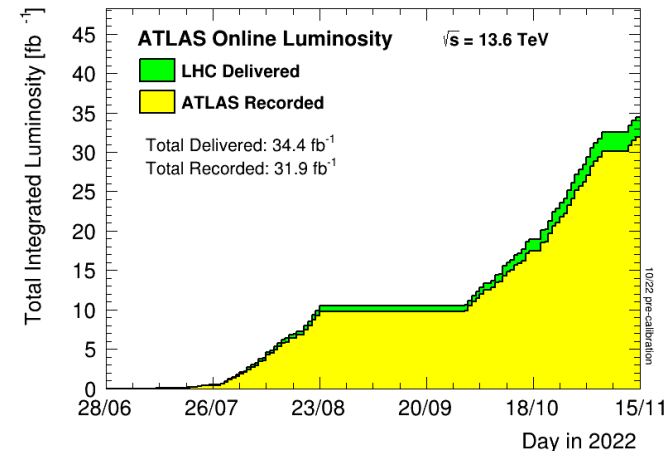
- Uni Bonn
- DESY
- Uni Gießen
- Uni Göttingen
- KIT Karlsruhe
- HLL MPG München
- LMU München
- Uni Mainz
- MPP München
- TU München

Liste der beteiligten Institute recht stabil

Die deutschen Gruppen leisten herausragende Beiträge in
Betrieb der Experimente und Methodenentwicklung/Analyse
und wollen das auch in der neue FP tun!

Betrieb ATLAS / CMS

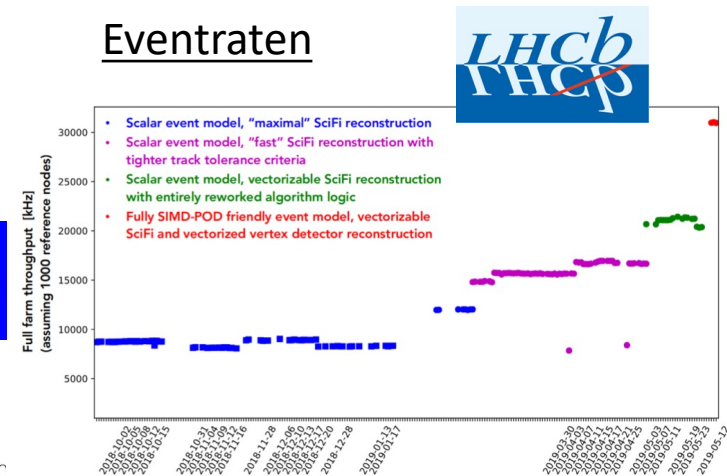
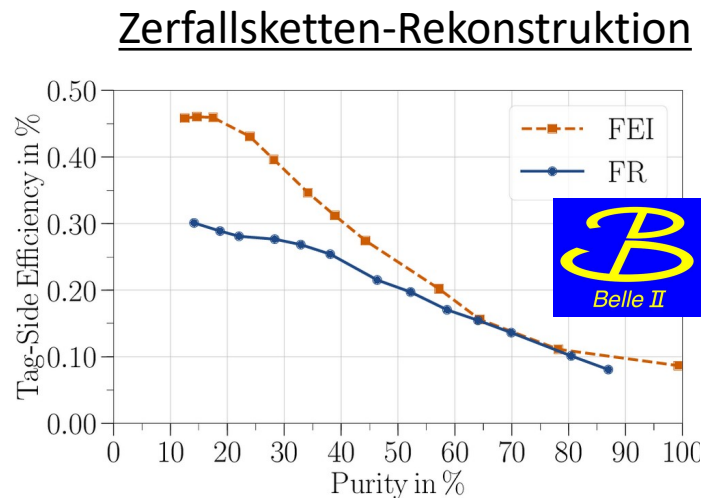
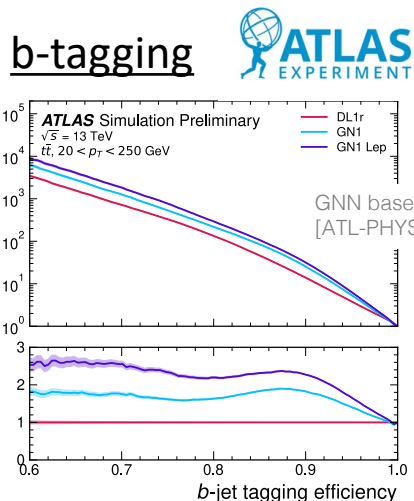
- Gruppen aus D werden sich in neuer FP erheblich beim Betrieb engagieren
 - ATLAS: Spurdetektor (insb. Pixel und Streifen), LAr-Kalo Kalorimeter, Myon-Spektrometer, Trigger
 - CMS: Tracker, Myon-System, Lumisystem, HGCal (?)
- entspr. Mittel in neuer FP sind notwendig !
 - vielversprechend: Run-3 erfolgreich begonnen



- aber auch große Herausforderungen/Unsicherheiten:
 - Energiesparen erfordert kürzere Runs → unklare Situation
 - z.Z Schwierigkeiten, im Run-3 Schichten zu füllen, Gründe: Corona-Nachwirkungen, teilweise Kürzung von Reisemitteln, Gegenmaßnahmen in Diskussion
 - russische Institute/Individuen leisten (noch) überproportional Beiträge im Betrieb, erwartete Änderungen ab 2023/24 mit Auslaufen der ICAs → Mehraufwand für D (?)
 - langfristige Betriebsaufgaben erfordern Erfahrung, Leitungsfunktionen nicht mit BMBF-Mitteln erreichbar, langfristige BMBF-Förderung ?
 - langfristige Aufgaben vs. Arbeitsrecht und Projekt-Perioden, 'Sägezahn'
 - Erhöhen der Mittel für Aufenthalte am Experiment (?)

Methodenentwicklung

- Methodenentwicklung unabdingbare Voraussetzung für bessere Resultate
 - Anpassung an neue Umgebung (Pile-Up, Spur-Belegung, höhere Raten, neue Sub-Detektoren, ...)
 - Performance-Verbesserungen notwendig für mehr als $1/\sqrt{L}$ -Verbesserung'
- Erfahrung: erstaunliche Verbesserungen, wenn Daten verfügbar



Methodenentwicklung



- Detektor-Alignment
- b-Tagging
- Trigger (Entwicklung und Performance-Studien)
- JPerformance-Studien einzelner Subdetektoren
- et- und MET-Reko.
- PileUp-Mitigation
- Beam-Untergrund und Strahlenschäden
- Lepton-Reko. (had. τ)
- Energieflussalgorithmen für τ - und Jet-Physik
- W/H/top-Tagging
- Data Quality
- Modellierung von Signal- und BGR-Prozessen im MC.
- ML-basierte Algorithmen
- ...



- Spur-Rekonstruktion
- Tracker-Alignment
- b- und c-Tagging
- Lepton-Rekonstruktion (Tauonen, e/gamma, Myonen)
- Lumi-Messung
- Jet- und MET-Reko und Kalibration
- PileUp-Mitigation
- Trigger-Entwicklungen (Algorithmen und Menus)
- MC-Generation
- ML-basierte Algorithmen
- ...



- Entwicklungen rund um den SciFi
- Spurrekonstruktion und Alignment
- Track- und Vertexfits
- Tracking-Effizienzen
- online Real Time Analysis (RTA)
- Entwicklung von Trigger Lines
- Data Preservation
- Flavour Tagging Calibration
- ...



- Spurrekonstruktion (PXD)
- Full Event Interpretation
- Trigger-Entwicklung (Track-Trigger, Neuro-Trigger, GNN-Tracking)
- Kalorimeter-Reko
- Rekonstruktion neutraler Teilchen
- ParticleID-Kalibration
- grundlegende SW-Entwicklung (*Systematic Correction Framework*)
- Analyse-Werkzeuge
- ...

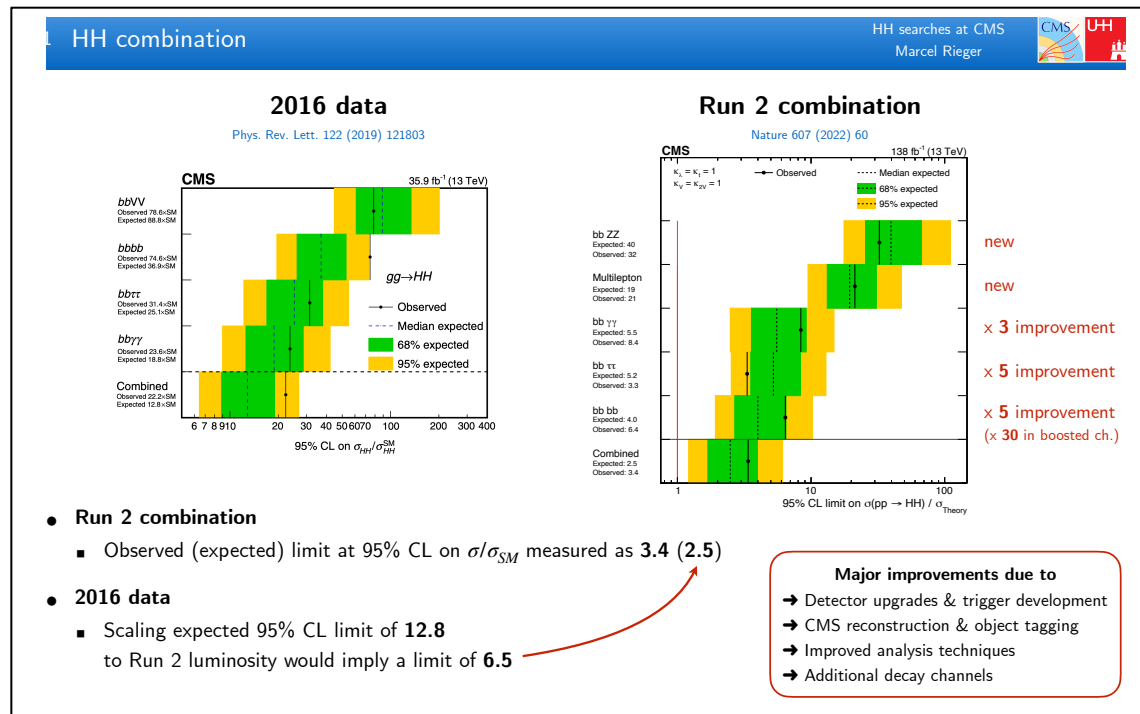
- Methodenentwicklung in D sehr breit aufgestellt
- gewisse Schwerpunkte in Bereichen, in denen zuvor Detektor/System-Bau und jetzt -Betrieb
 - Detektor-Know-How oftmals unabdingbar
 - Gruppen arbeiten gemeinsam → Verbünde

Methodenentwicklung und Analyse

Methodenentwicklung führt
direkt zu besseren Physik-
Resultaten

ein Beispiel: DiHiggs bei CMS
(ATLAS analog)

ohne Methodenverbesserung
wären 940 fb^{-1} notwendig
gewesen, d.h. 19 Jahre
Datennahme!



- teilweise enorme Verbesserungen (ziemlich sicher auch in der neuen FP)
 - besonderes Augenmerk: ML-basierte Verbesserungen → siehe Vortrag M. Erdmann
- Als ‘Investor’/FA sollte man hier investieren !
 - viele exp.-übergr. Initiativen zur Methodenentwicklung wurden in ErUM-data aber überraschend nicht gefördert (Trigger, Tracking, Unsicherheiten ...), Gründe unklar.

Physik-Interessen



breite Abdeckung:

- SM-Physik
- Top-Physik
- Higgs-Physik
- SUSY
- Exotica
- (B-Physik)



breite Abdeckung:

- SM-Physik
- Top-Physik
- Higgs-Physik
- SUSY
- Exotica
- 'B2G'
- (B-Physik)



breite Abdeckung:

- Elektroschwache Pinguin-Zerfälle ($b \rightarrow sll$)
 - LUV-Tests, Winkelanalysen, Branching ratios
- Seltene Charm-Zerfälle
- Hadron-Spektroskopie
- Quark-Mischung und CP-Verletzung
- Rare Decays
- QCD und Exotics
- ...

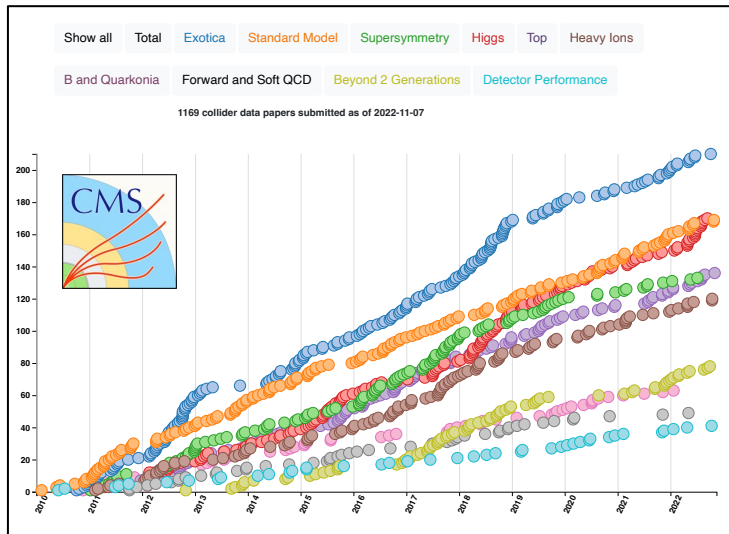


breite Abdeckung:

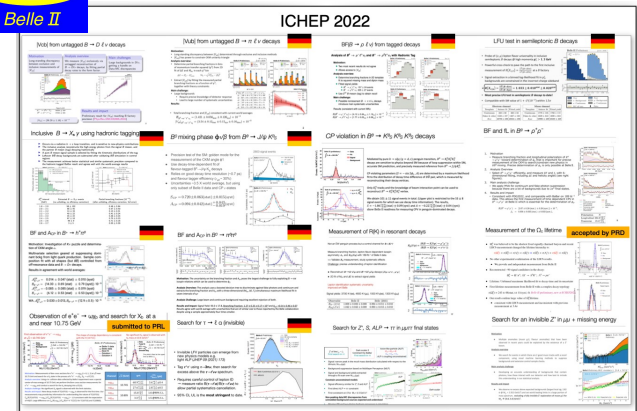
- Suche nach neuer Physik mit B-Mesonen
- Präzisions-Messungen mit B-Mesonen
- Charm-Hadronen
- tau-Leptonen
- Dark-Sector-Suchen
- Hadron-Spektroskopie
- ...

Basierend auf Ihrer großen technischen Expertise wollen die Verbünde auch in der neuen FP zu den großen Physik-Zielen der Experimente beitragen.

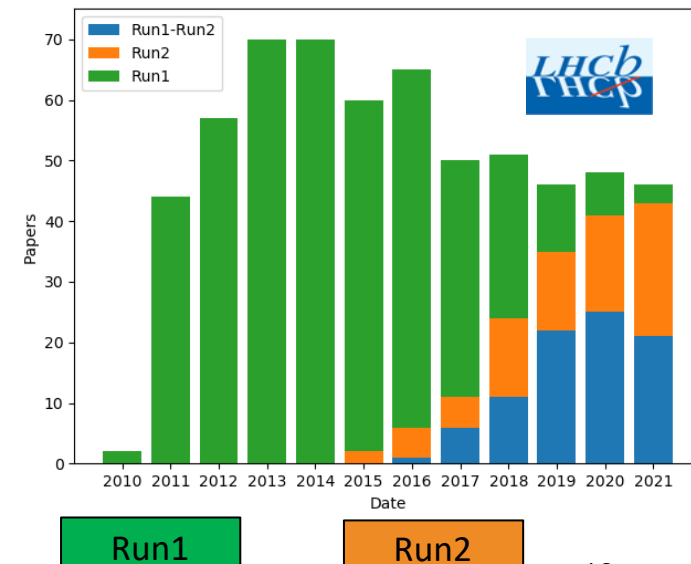
Physik-Output der Collider-Experimente



source: T. Ferber



- die laufenden Collider-Experimente haben weiterhin einen extrem hohen Output
 - nur geringe Schwankungen der Rate durch Runs oder Shut-Downs → gute Aussichten für neue FP
- aber: Physikresultate benötigen Zeit
 - Abschätzung eines LHC-Experiments: jetzige Rate → noch 7 Jahre, um alle Run-2 Papers zu publizieren (!)



Analyseförderung

- Analyse und Methodenentwicklung extrem verzahnt, oftmals starker Anschluss an Detektor-Betrieb (und auch Bau).
 - Analyse erfordert Detektor-Knowhow, Feed-back-Loop: Betrieb/Analyse
 - wissenschaftlicher Output von vorherigem Investment
 - Fakt: nur mit wiss. Output kann promoviert werden (Nachwuchsförd.)
-
- viele präferieren eine fortgesetzte Förderung durch ErUM-Pro
 - Verzahnung mit Betrieb und Methoden, Vernetzung im Verbund
 - BMBF: 'Wissenschaftl. Spitzenleistungen', 'Nachwuchsförderung'
 - aber: Mangel an Mittel für Analyse nach Abzug der Betriebsaufgaben
 - eingeschränkte Eigenverantwortung der Projektleiter wird bemängelt
 - Alternative: Statement, dass BMBF Analyse nicht fördert, würde DFG-Verfahren ermöglichen.
 - ernste Änderung des HEP-Fundings in D.

übergreifende Aspekte

- **PR-Arbeit:** Darstellung unserer Ergebnisse in den überregionalen Medien ist ‚schlecht‘ (siehe ZEIT oder Spiegel zu Higgs@10) → wir müssen aktiv werden!
 - Das FSP-Büro hilft uns sehr! hat aber einen leicht anderen Fokus, sehr erfolgreich
- Verzahnung mit **Computing**-Projekten (Run3, FIDIUM) bleibt wichtig
- Verzahnung mit der **Theorie** bleibt wichtig
 - in Zukunft: Analysen stärker systematisch limitiert, so dass z.B. Modellierungsunsicherheiten (z.B GANs) dominieren (werden).
 - aber: teilweise sehr unterschiedliches Level der Zusammenarbeit mit den angegliederten Theorieprojekten

