**Toegevoegde features**

**Spectral Flatness:** Deze maat vergelijkt het geometrisch gemiddelde met het rekenkundig gemiddelde van het vermogensspectrum van een signaal. Een hoge spectral flatness duidt op een vlak spectrum, wat geassocieerd wordt met storingen of schade aan lagers, doordat defecten vaak leiden tot bredere frequentiecomponenten.

**Kurtosis:** Kurtosis meet de spitsheid van de verdeling van het signaal. Signalen met defecten bevatten vaak plotselinge pieken, wat resulteert in een hogere kurtosis. Dit kan een sterk onderscheidend kenmerk zijn tussen gezonde en beschadigde lagers.

Uit de PCA-analyse blijkt dat samples met stage 1 goed te scheiden zijn van de andere stadia op basis van de eerste twee hoofdcomponenten. De clusters van stages 2, 3 en 4 overlappen echter deels, wat wijst op complexere onderliggende patronen.

Op basis hiervan verwachten we dat classificatie tussen stage 1 en de rest relatief eenvoudig is, maar dat een gedetailleerde voorspelling van alle vier de stadia waarschijnlijk een complexer model vereist.

De PCA-visualisatie laat zien dat de degradatiestadia niet goed te onderscheiden zijn met enkel de eerste twee hoofdcomponenten. De clusters overlappen sterk, wat betekent dat de classificatie waarschijnlijk een uitdaging vormt.

Daarom overwegen we het gebruik van complexere modellen, zoals Random Forest of Gradient Boosted Trees, en/of het uitbreiden van de feature set.

| **Model** | **Waarom** |
| --- | --- |
| ✅ Random Forest | Robuust, weinig tuning, goed baseline |
| ✅ SVM (RBF) | Goede performance bij overlap |
| (Optioneel) XGBoost | Voor betere performance als je RF beheerst |

* **Spectral Flatness**: Peeters, B., & De Roeck, G. (2001). *Stochastic system identification for operational modal analysis: A review*. [IEEE]
* **Kurtosis in fault detection**: Randall, R. B. (2011). *Vibration-based Condition Monitoring*. Wiley.

Crest:

De **crest factor** is de verhouding tussen de piekwaarde en de RMS-waarde (Root Mean Square) van een signaal. In formulevorm:

Crest Factor=PiekwaardeRMS-waarde\text{Crest Factor} = \frac{\text{Piekwaarde}}{\text{RMS-waarde}}Crest Factor=RMS-waardePiekwaarde​

Deze metriek geeft inzicht in hoe impulsief een trillingssignaal is. Een hoge crest factor betekent dat er relatief sterke pieken voorkomen ten opzichte van de gemiddelde signaalenergie. In het geval van lagers kan dit wijzen op:

* **Slijtage of schade aan de lagers**, zoals putjes, scheurtjes of vuil in de loopbanen.
* **Plotselinge schokken of botsingen** die ontstaan door onregelmatigheden in de lagercomponenten.
* **Beginnende defecten**, waarbij kleine beschadigingen zich nog niet sterk uiten in de gemiddelde energie, maar wel leiden tot scherpe pieken.

**🎯 Waarom relevant voor het bepalen van degradatie?**

Tijdens het degradatieproces van een lager (bijvoorbeeld bearing 1), ontstaan vaak **lokale defecten** die nog niet het volledige trillingsgedrag veranderen, maar wél leiden tot incidentele schokachtige signalen. Deze resulteren in hogere pieken, terwijl de RMS nog relatief laag blijft. Hierdoor:

* Kan de **crest factor vroegtijdige schade detecteren**, nog voordat meer traditionele metrics (zoals RMS of standaarddeviatie) duidelijke afwijkingen laten zien.
* Het geeft een extra dimensie aan de karakterisering van het signaal, aanvullend op gemiddelde- en spreidingsmetingen.