

## Übungsblatt 22 zur Homologischen Algebra II

### Aufgabe 1. Von einem Erzeuger aufgespannte Unterkategorie

Sei  $X$  ein Objekt einer abelschen Kategorie  $\mathcal{A}$ . Sei  $\langle X \rangle \subseteq \mathcal{A}$  die volle Unterkategorie aller direkten Summen direkter Summanden von  $X$ . Diese Unterkategorie wird additiv.

- Sei  $\text{Ext}_{\mathcal{A}}^i(X, X) = 0$  für alle  $i > 0$ . Zeige, dass der kanonische Funktor  $K^b(\langle X \rangle) \rightarrow D^b(\mathcal{A})$  volltreu ist.
- Gelte außerdem, dass jedes Objekt aus  $\mathcal{A}$  eine endliche Auflösung durch Objekte aus  $\langle X \rangle$  besitzt. Zeige, dass der Funktor aus a) dann sogar eine Äquivalenz ist.

### Aufgabe 2. Auflösungen unbeschränkter Komplexe

Eine *projektive Linksauflösung* eines Komplexes  $K^\bullet$  ist ein Komplex  $P^\bullet$  aus Projektiven zusammen mit einem Quasiisomorphismus  $P^\bullet \rightarrow K^\bullet$ . Zeige, dass unbeschränkte Komplexe auch bis auf Homotopieäquivalenz nicht unbedingt eindeutige projektive (ihrerseits unbeschränkte) Linksaufösungen besitzen müssen.

*Tip:* Zeige, dass der Komplex  $P^\bullet : \cdots \xrightarrow{2} \mathbb{Z}/(4) \xrightarrow{2} \cdots$  von  $\mathbb{Z}/(4)$ -Moduln eine projektive Linksauflösung des Nullkomplexes ist, aber nicht homotopieäquivalent zum Nullkomplex ist.

### Aufgabe 3. Kategorielle Charakterisierung von Endlichkeitseigenschaften

- Zeige, dass ein  $A$ -Modul  $M$  genau dann endlich erzeugt ist, wenn der Funktor  $\text{Hom}(M, \_) : \text{Mod}(A) \rightarrow \text{Set}$  mit filtrierten Kolimiten von Monomorphismen vertauscht, wenn also für jedes filtrierte Diagramm  $(V_i)_i$ , in der die Übergangsabbildungen  $V_i \rightarrow V_j$  alle injektiv sind, folgende kanonische Abbildung bijektiv ist.

$$\text{colim}_i \text{Hom}(M, V_i) \longrightarrow \text{Hom}(M, \text{colim}_i V_i)$$

- Zeige, dass ein  $A$ -Modul  $M$  genau dann endlich präsentiert ist, wenn der Funktor  $\text{Hom}(M, \_)$  mit beliebigen filtrierten Kolimiten vertauscht.

### Aufgabe 4. Interpretation der zweiten Ext-Gruppen

- Seien Objekte  $X \hookrightarrow Y \hookrightarrow Z$  in einer abelschen Kategorie gegeben. Dann gibt es die kanonische exakte Sequenz

$$\gamma : 0 \longrightarrow X \longrightarrow Y \longrightarrow Z/X \longrightarrow Z/Y \longrightarrow 0.$$

Zeige, dass  $\gamma_1 \gamma_2 \in \text{Ext}^2(Z/Y, X)$ , wobei  $\gamma_1 \in \text{Ext}^1(Y/X, X)$  und  $\gamma_2 \in \text{Ext}^1(Z/Y, Y/X)$  zu folgenden kurzen exakten Sequenzen gehören.

$$\gamma_1 : 0 \rightarrow X \rightarrow Y \rightarrow Y/X \rightarrow 0 \quad \gamma_2 : 0 \rightarrow Y/X \rightarrow Z/X \rightarrow Z/Y \rightarrow 0$$

- Zeige weiter, dass  $\gamma_1 \gamma_2 = 0 \in \text{Ext}^2(Z/Y, X)$ .
- Zeige die Umkehrung: Gilt für Elemente  $\gamma_1 \in \text{Ext}^1(B, C)$  und  $\gamma_2 \in \text{Ext}^1(A, B)$  dass  $\gamma_1 \gamma_2 = 0 \in \text{Ext}^2(A, C)$ , so gibt es ein Objekt  $Z$  und Unterobjekte  $X \hookrightarrow Y \hookrightarrow Z$ , sodass  $A \cong Z/Y$ ,  $B \cong Y/X$ ,  $C \cong X$  und sodass unter diesen Isomorphismen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  von der Form wie in a) sind.

**Aufgabe 5.** *Geometrische Interpretation eines Beweises*

Im Beweis der Vorlesung, dass Quasiisomorphismen, deren Quelle ein nach links beschränkter Komplex aus Injektiven ist, bis auf Homotopie ein Linksinverses besitzen (Gelfand–Manin, Seite 180f.), wurden händisch Homotopien konstruiert. Gib einen alternativen Beweis dieser Behauptung, der die Charakterisierung von Homotopien aus Blatt 20, Aufgabe 4 verwendet.