

**Zeitschrift:** L'Enseignement Mathématique  
**Herausgeber:** Commission Internationale de l'Enseignement Mathématique  
**Band:** 8 (1962)  
**Heft:** 1-2: L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE

**Artikel:** HOMOTOPIE UND HOMOLOGIE  
**Autor:** Eckmann, Beno  
**Kapitel:** 1. Die Gruppen  $\pi_n(A,B)$ .  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-37962>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 24.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

werden. Die angedeuteten allgemeinen Resultate, die neues Licht auf die Beziehungen zwischen Homologie und Homotopie werfen, haben vor allem die Gestalt exakter Folgen und damit verknüpfter Isomorphismen, welche alle die  $\Pi(A, B)$  oder von ihnen abgeleitete Gruppen betreffen, und von diesen ist im folgenden die Rede. Sie sind in Zusammenarbeit mit P. J. Hilton entwickelt worden und grösstenteils an anderer Stelle ausführlich dargestellt [1, 2, 4].

### 1. DIE GRUPPEN $\Pi_n(A, B)$ .

Die Menge  $\Pi(A, B)$  besitzt eine natürliche Gruppenstruktur bezüglich  $A$  — d.h. bei festem  $B$  als Funktor von  $A$  — falls  $B$  ein gruppenähnlicher Raum ist (d.h. ein Raum mit einer Multiplikation  $m: B \times B \rightarrow B$ , welche bis auf Homotopie die Gruppenaxiome erfüllt), und nur in diesem Falle. Sie besitzt eine natürliche Gruppenstruktur bezüglich  $B$  bei festem  $A$ , wenn  $A$  mit einer Comultiplikation versehen ist, d.h. mit einer Abbildung  $m': A \rightarrow A \vee A$  mit den dualen Axiomen (vgl. [1]). Dies ist insbesondere der Fall für  $B = \Omega Y$ , den Schleifenraum von  $Y$ , oder für  $A = \Sigma X$ , die Suspension von  $X$ . Zwischen  $\Pi(\Sigma X, Y)$  und  $\Pi(X, \Omega Y)$  besteht eine natürliche, d.h. mit allen Abbildungen verträgliche Isomorphie, und man kann diese Gruppen ohne Schaden identifizieren; durch Iteration erhält man die Gruppen

$$\Pi_n(A, B) = \Pi(\Sigma^n A, B) = \Pi(\Sigma^{n-k} A, \Omega^k B), \quad 0 \leq k \leq n$$

für  $n = 1, 2, 3, \dots$ , wobei es für  $1 \leq k \leq n-1$  gleichgültig ist, welche der gruppenbildenden Strukturen man verwendet. Sie sind covariante Funktoren von  $B$ , contravariante von  $A$ ; für  $n \geq 2$  sind sie stets Abelsche Gruppen [1]. Wählt man für  $A$  die Sphäre  $S_{m-n}$ , so ist  $\Pi_n(A, B) = \pi_m(B)$  die  $m$ -te Hurewicz'sche Homotopiegruppe; wählt man für  $B$  den Eilenberg-MacLane-Raum  $K(G, m+n)$ , wo  $G$  eine Abelsche Gruppe ist, so ist  $\Pi_n(A, B) = H^m(A; G)$  eine homotopisch definierte Cohomologiegruppe, die für Polyeder  $A$  mit der üblichen (etwa der singulären) übereinstimmt, wie man z.B. von der Erweiterungstheorie der Abbildungen her weiss.

Eine Abbildung  $\beta : B \rightarrow B'$  induziert Homomorphismen  $\beta_* : \Pi_n(A, B) \rightarrow \Pi_n(A, B')$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ ; diese lassen sich verknüpfen durch „relative“ Gruppen  $P_n(A, B)$  und eine *exakte* Sequenz (Definition der  $P_n$  sowie von  $J$  und  $\partial$  vgl. [1, 3])

$$\dots \rightarrow \Pi_n(A, B) \xrightarrow{\beta_*} \Pi_n(A, B') \xrightarrow{J} P_n(A, \beta) \xrightarrow{\partial} \Pi_{n-1}(A, B) \rightarrow \dots;$$

wir fassen diese in evidentester Weise in ein exaktes Dreieck

$$\begin{array}{ccc} \Pi_*(A, B) & \xrightarrow{\beta_*} & \Pi_*(A, B') \\ \partial \swarrow & & \searrow J \\ & P_*(A, \beta) & \end{array}$$

zusammen, wobei  $\Pi_*$  bzw.  $P_*$  die direkte Summe der  $\Pi_n$  bzw.  $P_n$  ist und  $\beta_*$  und  $J$  als Homomorphismen vom Grade 0,  $\partial$  vom Grade  $-1$  aufzufassen sind. Für die relative Gruppe  $P_*(A, \beta)$ , die zum Testraum  $A$  und zur Abbildung  $\beta$  gehört, gilt die *Exzisionseigenschaft* für Faserungen, wie sie im Spezialfall der  $\pi_n$  wohlbekannt ist: Ist  $\beta$  eine Faserabbildung (im Sinne des „covering homotopy theorem“) mit Faser  $B_0$ , so hängt  $P_*(A, \beta)$  nur von  $B_0$  ab; das exakte Dreieck ergibt dann einen natürlichen Isomorphismus vom Grade  $-1$

$$P_*(A, \beta) \cong \Pi_*(A, B_0).$$

Die duale Betrachtung — fester Raum  $B$  und Abbildung  $\alpha : A \rightarrow A'$  — ergibt analog relative Gruppen  $P_n(\alpha, B)$  und ein exaktes Dreieck

$$\begin{array}{ccc} \Pi_*(A', B) & \xrightarrow{\alpha_*} & \Pi_*(A, B) \\ \partial \swarrow & & \searrow J \\ & P_*(\alpha, B) & \end{array}$$

sowie einen Exzisionsisomorphismus vom Grade  $-1$  für Cofaserungen  $\alpha$  (d.h. Abbildungen  $\alpha : A \rightarrow A'$  mit „homotopy extension property“,  $A'/\alpha(A) = A_0$  heisst dann die Cofaser von  $\alpha$ )

$$P_*(\alpha, B) \cong \Pi_*(A_0, B).$$

Die Gruppen  $\Pi_*(A, B)$  besitzen somit die Eigenschaften:

bei festem  $A$

- (I) Exaktheit für Abbildungen  $\beta : B \rightarrow B'$  und passende relative Gruppen  $P_*(A, \beta)$ ,
- (II) Exzision für Faserungen;

bei festem  $B$

- (I') Exaktheit für Abbildungen  $\alpha : A \rightarrow A'$  und passende relative Gruppen  $P_*(\alpha, B)$ ,
- (II') Exzision für Cofaserungen.

Hiezu kommt offenbar die Homotopie-Eigenschaft (III) bzw. (III'), dass homotope Abbildungen denselben Homomorphismus  $\beta_*$  bzw.  $\alpha^*$  induzieren. Die Gruppen  $\Pi_*(A, B)$  verdienen also weitgehend die Bezeichnung *Cohomologiegruppen mit Koeffizientenraum  $B$*  oder *Homotopiegruppen mit Koeffizientenraum  $A$* , wobei eine Unterscheidung für die „absoluten“ Gruppen nicht möglich ist — sie liegt nur in der Auffassung als Funktor von  $A$  bzw.  $B$  —, sondern erst bei den relativen Gruppen auftritt. Die Uebereinstimmung mit der vollen Cohomologietheorie erhält man allerdings erst durch die spezielle Wahl von Eilenberg-MacLane-Räumen als Testräume  $B$ , vgl. Abschnitt 3.

## 2. DIE EXAKTE SEQUENZ DER RELATIVEN GRUPPEN.

Sind  $\beta_1$  und  $\beta_2$  Abbildungen,  $\beta_1 : B_1 \rightarrow B'_1$ ,  $\beta_2 : B_2 \rightarrow B'_2$ , so versteht man unter einer Abbildung  $\Phi : \beta_1 \rightarrow \beta_2$  ein Paar von Abbildungen  $\varphi : B_1 \rightarrow B_2$  und  $\varphi' : B'_1 \rightarrow B'_2$  derart dass

$$\begin{array}{ccc} B_1 & \xrightarrow{\varphi} & B_2 \\ \beta_1 \downarrow & & \downarrow \beta_2 \\ B'_1 & \xrightarrow{\varphi'} & B'_2 \end{array}$$

kommutativ ist. Eine solche Abbildung  $\Phi$  induziert Homomorphismen  $\Phi_* : P_n(A, \beta_1) \rightarrow P_n(A, \beta_2)$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , die sich wiederum durch passende relative Gruppen „zweiter Stufe“