

# **Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlage**

## **Fahrweg Teil V Vermessung**

Das Urheberrecht an diesem Dokument und sämtlichen Beilagen verbleibt beim Ersteller.  
Alle Rechte vorbehalten

## **1 Verteiler**

Dieses Dokument wurde vom Fachausschuss Fahrweg zur Veröffentlichung freigegeben.

## **2 Änderungsübersicht**

Datum der Freigabe: 15.02.2007, Weißdruck, Fachausschuss Fahrweg.

### 3 Inhaltsverzeichnis

1	Verteiler .....	2
2	Änderungsübersicht .....	3
3	Inhaltsverzeichnis .....	4
4	Allgemeines .....	6
4.1	Zweck und Anwendungsbereich .....	6
4.2	Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen .....	6
4.3	Abkürzungen und Definitionen .....	6
4.4	Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien .....	6
4.5	Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen .....	7
5	Koordinatensysteme .....	8
5.1	Landeskoordinatensysteme .....	8
5.2	Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS) .....	8
5.3	Trägerfertigungs-Koordinatensystem (TFK) .....	9
5.4	Raumkurven-Koordinatensystem (RKK) .....	9
6	Anforderungen an das Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS) .....	10
6.1	Eigenschaften .....	10
6.2	Festlegung der Lagekomponenten .....	11
6.2.1	Abbildung und Transformation .....	13
6.3	Höhenkomponente .....	14
6.4	Realisierung .....	15
7	Übergeordnetes Festpunktnetz des MKS .....	16
7.1	Lagebestimmung .....	16
7.2	Höhenbestimmung .....	17
7.3	Vermarkung .....	18
7.4	Transformation des Planungssystem in das MKS .....	19
8	Trassenbegleitendes Festpunktnetz im MKS .....	20
8.1	Lagebestimmung .....	21
8.2	Höhenbestimmung .....	22
9	Feinpositionierung der Fahrwegträger .....	23
10	Dokumentation .....	25
Anhang V-A	Gauß-Krüger-Koordinatensystem .....	26
Anhang V-B	Universale, transversale Mecatorabbildung .....	27

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Parameterdarstellung des Magnetschnellbahnkoordinatensystem (MKS) ..... 11  
Abbildung 2: Seitliche Begrenzung des MKS..... 12  
Abbildung 3: Beispiele für die Ausführung von Festpunktvermarkungen..... 18  
Abbildung 4: Empfohlenes trassenbegleitendes Festpunktfeld ..... 20  
Abbildung 5: Anforderungen an die Feinpositionierung von Fahrwegträgern ..... 23  
Abbildung 6: Maßstabsverzerrung beim Gauß-Krüger-System ..... 26  
Abbildung 7: Maßstabsverzerrung beim UTM-System ..... 27

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Abbildungsverzerrungen ..... 12

## 4 Allgemeines

### 4.1 Zweck und Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument spezifiziert die Anforderungen an die Vermessung von Magnetschnellbahnen. Die daraus zu erstellenden Festpunktnetze (Lage und Höhe) bilden die Grundlagen für die Planung, den Bau und für die Vermessungstechnische Überwachung im Zuge der Instandhaltung von Magnetschnellbahnfahrwegen.

Diese Ausführungsgrundlage gilt projektunabhängig und dient als Grundlage für weiterführende Vermessungs- und Berechnungskonzepte.

Ergänzend sind zur Verbesserung der Anschaulichkeit in diesem Dokument Erläuterungen und Begründungen zu den dargestellten Vermessungs- und Berechnungsverfahren aufgeführt.

Die vorliegende Ausführungsgrundlage gilt für eine Magnetschnellbahn gemäß Allgemeinem Magnetschwebbahngesetz /AMbG/.

### 4.2 Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlagen

Dieses Dokument ist Bestandteil einer Dokumentation für Magnetschnellbahnen bestehend aus mehreren Ausführungsgrundlagen. Der Dokumentenbaum ist in Abbildung 1 /MSB AG-GESAMTSYS/ dargestellt.

Die übergeordneten Dokumente Ausführungsgrundlage Gesamtsystem und seine Anlagen gelten einheitlich für die gesamte Dokumentation:

- Magnetschnellbahn-Ausführungsgrundlage Gesamtsystem, Dok.-Nr: 50630, /MSB AG-GESAMTSYS/ mit den Anlagen:
  - Anlage 1: Abkürzungen und Definitionen, Dok.-Nr: 67536, /MSB AG-ABK&DEF/
  - Anlage 2: Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien, Dok.-Nr: 67539, /MSB AG-NORM&RILI/
  - Anlage 3: Umweltbedingungen, Dok.-Nr: 67285, /MSB AG-UMWELT/
  - Anlage 4: Regeln für Betrieb (Fahrbetrieb und Instandhaltung), Dok.-Nr: 69061, /MSB AG-BTR&IH/
  - Anlage 5: Schall, Dok.-Nr: 72963, /MSB AG-SCHALL/

### 4.3 Abkürzungen und Definitionen

Es gelten die in /MSB AG-ABK&DEF/ angegebenen Abkürzungen und Definitionen.

### 4.4 Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien

Die in /MSB AG-NORM&RILI/ aufgeführten normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in den Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen zum Bestandteil der Magnetschnellbahn Ausführungsgrundlagen werden. Bei datierten normativen Dokumenten in /MSB AG-NORM&RILI/ gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen normativen Dokuments.

Der Stand der in einem MSB-Projekt zu berücksichtigenden Normen und Richtlinien muss projektspezifisch verbindlich festgelegt werden.

#### **4.5 Kennzeichnung und Verbindlichkeit von Anforderungen**

Bei der Erstellung des vorliegenden Dokuments wurden die Regelungen gemäß /DIN 820/ im Wesentlichen angewendet.

In den nachfolgenden Kapiteln und in den Anlagen dieses Dokumentes sind

- Anforderungen in Standard-Schrift
- Erläuterungen, Richtwerte und Beispiele in Kursiv-Schrift

dargestellt (siehe /MSB AG-FW ÜBG/).

## 5 Koordinatensysteme

*Als technische Planungsgrundlage für Magnetschnellbahnprojekte können zunächst vorliegende amtlichen Kartenwerke auf der Basis der Landeskoordinatensysteme genutzt werden.*

*Für die Feintrassierung der Raumkurven der jeweiligen Fahrwege inkl. Stützen- und Trägerteilung (/MSB AG-FW TRAS/) und für die Realisierung des Bauwerkes ist ein einheitliches, spannungsarmes und bauwerksnahes, geodätisches Bezugssystem zu schaffen.*

*Trotz fortschreitender Verbesserungen der Landesnetze hinsichtlich Homogenität und Genauigkeit, die im Zuge der Satellitenmesstechnik erreicht wurden, weisen vorhandene Festpunktfelder – je nach Lokalität und Historie bedingt – nach wie vor verschiedene Mängel auf, wie zum Beispiel*

- *unterschiedliche Abbildungseigenschaften,*
- *Aktualitätsunterschiede,*
- *mangelnde Qualität (Genauigkeit), Stabilität, Dichte und Konfiguration.*

### 5.1 Landeskoordinatensysteme

*Im Vermessungswesen werden die Koordinatensysteme für die Lage und Höhe aufgrund der unterschiedlichen Rechenflächen (Rotationsellipsoid bzw. Quasigeoid) getrennt.*

*Die Höhe bezieht sich auf das Quasigeoid, einer Niveaufläche in der Höhe des mittleren Meeresspiegels, auf dem alle Lotrichtungen senkrecht stehen.*

*Für das Lagesystem verwendet man überwiegend konforme (d.h. differentiell winkeltreue) Abbildungen der durch ein Rotationsellipsoid angenäherten Erdoberfläche der jeweiligen Berechnungs- oder Kartenebene.*

*Die in der Landesvermessung verwendeten Koordinatensysteme können i.d.R. aufgrund von Abbildungsverzerrungen und Inhomogenitäten infolge unterschiedlicher Beobachtungsverfahren, Aktualitätsunterschieden und Netzspannungen (z.B. Deformationen) für die weiterführenden Vermessungen nicht verwendet werden. Diese Einflüsse überlagern sich und können zu einem für die Magnetschnellbahn unverträglichen Genauigkeitsverlust bei der Fahrwegvermessung führen.*

*Informationen zur Abbildung und Maßstabsverzerrung sind für das Gauß-Krüger-Abbildungssystem im Anhang A bzw. das ETRS89/UTM-Abbildungssystem im Anhang B dargestellt.*

### 5.2 Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS)

Für die Feintrassierung und Realisierung des Bauwerkes ist in einem Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS) ein Festpunktnetz zu planen, zu vermarken, geodätisch zu bestimmen, zu berechnen und zu unterhalten, das die speziellen Anforderungen erfüllt. (Kapitel 6).



### **5.3 Trägerfertigungs-Koordinatensystem (TFK)**

*Die Planung, die Fertigung und die Abnahme von Fahrwegträgern erfolgt im für jeden Träger festgelegten Trägerfertigungs-Koordinatensystem (TFK) /MSB AG-FW GEO/.*

*Die Koordinatenachsen werden mit Y, X und Z bezeichnet /MSB AG-FW GEO/ und sind in dieser Ausführungsgrundlage nicht beschrieben.*

### **5.4 Raumkurven-Koordinatensystem (RKK)**

*Die Funktionsebenen Statorebene (SE), Seitenführschiene (SFE) und Gleitebene (GE) /MSB AG-FW GEO/, der Lichtraum und die Begrenzungslinien /MSB AG-FW TRAS/ sowie die Einbauträume der Fahrwegausrüstung /MSB AG-FW ÜBG/ beziehen sich auf das der Raumkurve mit der örtlichen Querneigung folgende Koordinatensystem.*

*Die Koordinatenachsen werden mit y,x und z bezeichnet /MSB AG-FW GEO/ und in dieser Ausführungsgrundlage nicht beschrieben.*

## **6 Anforderungen an das Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS)**

Das Magnetschnellbahn-Koordinatensystem (MKS) ist als technisches Sondernetz zu definieren und geodätisch zu realisieren.

Das MKS ist in zwei Netzstufen anzulegen:

- (1) Übergeordneter Festpunktnetz (1. Ordnung) mit Punktabständen von ca. 3 km als Grundlage der Feintrassierung.
- (2) Trassenbegleitendes Festpunktnetz (2. Ordnung) mit Punktabständen von ca. 200 m, als Grundlage der baubegleitenden Vermessungsarbeiten.

Im MKS werden die Zwangspunkte der Trassierung als Grundlage für die Feintrassierung erfasst.

*Dies erfolgt durch geodätisches Aufmaß bzw. durch Transformation (siehe Abschnitt 7.4), wenn diese Zwangspunkte nicht im MKS vorliegen. Weiterhin dient es zur Ausführung aller nachfolgenden vermessungstechnischen Arbeiten bei der Bauausführung.*

### **6.1 Eigenschaften**

Das MKS projiziert die Erdoberfläche zweckmäßig konform (d.h. differentiell winkeltreu) in die Planungs- und Rechenebene.

*Auftretende (unvermeidbare) Längenverzerrungen werden auf eine Größenordnung beschränkt, die für ein Projekt mit großer Sensibilität für Längentreue unkritisch sind.*

An das MKS werden Anforderungen hinsichtlich

- der Qualität der Vermarkung (frostfreie Gründung, gleichmäßige Zentriergenauigkeit),
  - der Homogenität (gleiches Entstehungsdatum, gleichwertige Beobachtungsverfahren),
  - der Nachbarschaftstreue (hoher Qualitätsanspruch an geometrische Nachbarschaftsbeziehungen),
  - einer angemessenen Punktdichte (zweckmäßig für Planung, Absteckung, Abnahme und Abrechnung) sowie
  - einer geeigneten Konfiguration (zweckmäßige Absteckungsgeometrie)
- gestellt.

Die Realisierung des MKS erfolgt getrennt in die Grundriss- und Aufrisskomponente.

*Dies erfolgt aufgrund der unterschiedlichen Art der Bezugsflächen für die Lage (Rotationsellipsoid) und die Höhe (Niveaufläche) sowie der teilweise auch heute noch unterschiedlicher Messmethoden für die Bestimmung der Lage und Höhe.*

## 6.2 Festlegung der Lagekomponenten

Als Lagekomponente des MKS wird ein ebenes Rechts-/Hoch-System als schiefachsige, konforme Abbildung des Ellipsoids gewählt.

Bei dieser Abbildung wird eine geodätische Linie, welche durch den Punkt  $P_0$  und das Azimut  $\alpha$  definiert ist, längentreu abgebildet.

Zur Minimierung der Längenverzerrungen, wachsend mit seitlichem Abstand  $a$ , wird die geodätische Linie als ausmittelnde Gerade rechnerisch über den Trassenverlauf gelegt.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die fiktive Lage einer Magnetschnellbahntrasse und eine vorteilhaft dazu angelegte geodätische Linie sowie die Achsbezeichnungen.

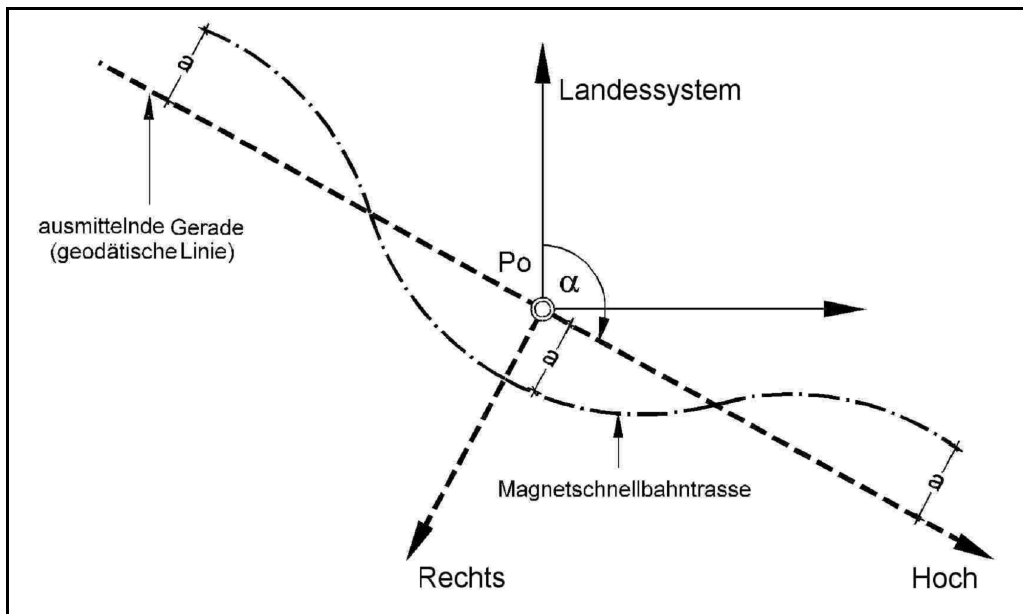


Abbildung 1: Parameterdarstellung des Magnetschnellbahnkoordinatensystem (MKS)

Die verbleibenden Längenverzerrungen (Maßstabdifferenzen) können abgeschätzt werden mit:

$$Lv \approx \frac{a^2}{2 \cdot R_m^2} \quad (1)$$

mit  $R_m$  = mittlerer Erdradius (6378 km)

Die Zunahme dieser Längenverzerrungen mit wachsender Entfernung von der ausmittelnden Geraden zeigt Tabelle 1 an berechneten Beispielen.

Seitlicher Abstand <i>a</i> [km]	Längenverzerrung <i>Lv</i> pro 100 m [mm/100 m]
10	+0,1
25	+0,8
50	+3,1
75	+6,9

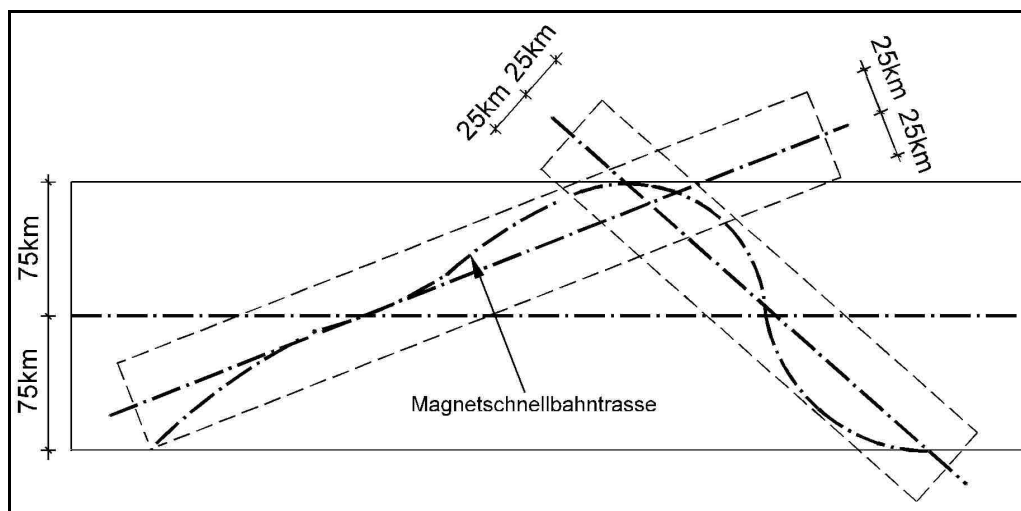
**Tabelle 1: Abbildungsverzerrungen**

Der maximale seitliche Abstand der Trasse zur gewählten geodätischen Linie durch  $P_0$  sollte etwa 25 km betragen.

*Durch diese Beschränkung liegen die verbleibenden Abweichungen (Abbildungsverzerrungen) in einer Größenordnung von 1 mm pro 100 m und somit innerhalb von tolerierbaren Größen. Sie können somit bei allen nachfolgenden Berechnungen / Vermessungen vernachlässigt werden.*

*Notwendige Berechnungen können dann nach den einfachen Formeln der ebenen Trigonometrie erfolgen. Insbesondere kann auf das Anbringen von Abbildungs-Reduktionen verzichtet werden.*

Ist die Empfehlung des maximalen seitlichen Abstandes von  $a \leq 25$  km nicht einzuhalten, werden mehrere MKS-Abschnitte mit ausreichend großen Überlappungsbereichen (mindestens jeweils 3 Punkte des übergeordneten Festpunktrahmens, entsprechend ca. 6 km Länge) festgelegt. Eine solche Anordnung zeigt Abbildung 2.



**Abbildung 2: Seitliche Begrenzung des MKS**

Unabhängig von den Eigenschaften der vg. Abbildung müssen Streckenmessungen (neben den üblichen instrumentellen und atmosphärischen Korrekturen) bei der Bestimmung der Festpunktnetze und der Bauausführung geometrisch reduziert werden (Reduktion auf die Horizontale und den Bauhorizont sowie Berücksichtigung der Erdkrümmung).

Die Festlegung des MKS (Lage) sollte in folgenden Teilschritten erfolgen:

- (1) Kartenmäßige Festlegung einer ausmittelnden Geraden derart, dass die seitlichen Abstände zwischen Trasse und ausgleichender Geraden nicht mehr als 25 km betragen (ggf. Unterteilung in mehrere Abschnitte).
- (2) Graphische Festlegung eines auf der ausmittelnden Geraden gelegenen Bezugspunktes  $P_O$  ( $\varphi_o, \lambda_o$ ) im mittleren Bereich der Trasse (ggf. mit gerundeten ellipsoidischen Koordinaten).
- (3) Graphische oder rechnerische Festlegung des ellipsoidischen Azimuts  $\alpha$  der ausmittelnden Geraden in diesem Bezugspunkt  $P_O$ .
- (4) Festlegung des MKS derart, dass
  - der Nullpunkt identisch ist mit dem vorgenannten Bezugspunkt  $P_O$  und
  - die positive Hochachse der geographischen Nordrichtung in  $P_O$  entspricht.
- (5) Abbildung dieses nordorientierten Systems in die Karten- bzw. Rechenebene nach den Gesetzen einer schiefachsigen konformen Abbildung. Hier wird die durch den Bezugspunkt  $P_O$  ( $\varphi_o, \lambda_o$ ) unter dem geografischen Richtungswinkel  $\alpha$  verlaufende ausmittelnde Gerade (entspricht auf dem Ellipsoid einer geodätischen Linie) im ebenen System längentreu abgebildet.
- (6) Drehung in das (in Trassenhaupttrichtung orientierte) (Rechts, Hoch)-Koordinatensystem mit anschließender additiver Nullpunktverschiebung mit den Werten  $Hochwert_o$  und  $Rechtswert_o$  (zur Vermeidung negativer Koordinaten).
  - $Hochwert = Rechtswert_{LK} \cdot \sin(\alpha) + Hochwert_{LK} \cdot \cos(\alpha) + Hochwert_o$
  - $Rechtswert = Rechtswert_{LK} \cdot \cos(\alpha) - Hochwert_{LK} \cdot \sin(\alpha) + Rechtswert_o$  (2)

### 6.2.1 Abbildung und Transformation

Auf der Grundlage der genannten Festlegungen ( $\varphi_o, \lambda_o$  und  $\alpha$ ) findet die rechnerische Abbildung der in der Regel aus GPS-Messungen abgeleiteten ellipsoidischen Koordinaten für die Punkte des übergeordneten Festpunktrahmens (vergl. Kapitel 7.1) statt.

Dieser Abbildung werden zweckmäßig dieselben ellipsoidischen Kenngrößen (große Halbachse und Abplattung) des Bezugsellipsoides (z.Z. WGS84) zugrunde gelegt, auf denen die ellipsoidischen Koordinaten basieren.

Auf die Darstellung der umfangreichen und unübersichtlichen Funktionen zur schiefachsigen konformen Abbildung wird hier verzichtet. Die mathematischen Grundlagen sind der geodätischen Fachliteratur zu entnehmen.

Bei den vorgenannten Transformationsgleichungen handelt es sich um Reihen, deren Entwicklung sich auf eine entsprechende Rechengenauigkeit beschränkt. Dadurch ergibt sich neben den vg. Längenverzerrungen seitlich der längentreu abzubildenden Linie (und der daraus folgenden maximalen Streifenbreite von 25 km nach jeder Seite; siehe Abschnitt 6.2) auch eine Begrenzung des Anwendungsgebietes (Längenausdehnung).

Diese Begrenzung ist wesentlich abhängig von folgenden Parametern:

- (1) Geografische Breite  $\varphi_0$  des Bezugspunktes  $P_0$ ,
- (2) Orientierung  $\alpha$  der Hauptachse (Hoch),
- (3) Längenausdehnung des MKS,
- (4) Streifenbreite des MKS und
- (5) Abbruchkriterium im angewendeten Berechnungsprogramm.

Um Berechnungsfehler vernachlässigbar klein zu halten, werden als zulässige Berechnungsungenauigkeiten festgelegt:

- (1) Maximal 1 mm zwischen benachbarten Punkten im Abstand von 1 km,
- (2) Maximal 20 mm für den entferntesten Punkt bezogen auf den Koordinatenursprung.

*Um spätere Höhenreduktionen gering zu halten, wird das MKS in einem mittleren Bauhorizont festgelegt. Rechentechnisch erfolgt die Berücksichtigung des Bauhorizontes zweckmäßig durch Anpassung der Parameter des Bezugsellipsoides in den vg. Berechnungen. In Abhängigkeit von der Topographie im Streckenverlauf kann so u.U. auf das Anbringen von Höhenreduktionen verzichtet werden, was insbesondere bei der Feintrassierung und den baubegleitenden Absteckungsarbeiten von Vorteil ist.*

### **6.3 Höhenkomponente**

*Als Höhensystem wird ein Festpunktfeld geschaffen, das die für die Magnetschnellbahntrasse notwendige Nachbarschaftsgenauigkeit gewährleistet.*

Das Höhennetz wird über Anschlussmessungen an die Höhenbezugsfläche der Landesvermessung angebunden. Dies dient dazu, die Abstimmung mit anderen Fachplanungen sowie die Übernahme von Daten der vorhandenen Infrastruktur zu vereinfachen.

Die Ausgleichung des Höhennetzes ist durch eine zwangsfreie Lagerung durchzuführen.

*Bei unterschiedlichen Landeshöhennetzen innerhalb des Trassenverlaufes können Teilabschnitte gebildet werden. Werden einzelne Punkte oder Punktgruppen an mehrere Höhensysteme (z.B. Systeme der Deutsche Bahn AG, Wasser- und Schifffahrtsverwaltung usw.) angeschlossen, sind zur eindeutigen Identifikation unabhängige Punktnummern zu vergeben.*

## 6.4 Realisierung

Das MKS wird durch die Gesamtheit aller Lage- und Höhenfestpunkte realisiert. Der Netzaufbau wird (jeweils für Lage und Höhe) in zwei Stufen durchgeführt, diese gliedern sich in:

- (1) Schaffung eines übergeordneten Festpunktnetzes mit Punktabständen von ca. 3000 m (vgl. Kapitel 7) zur Durchführung der für die Feintrassierung erforderlichen Arbeiten und zur späteren abschnittswisen Integration des trassenbegleitenden Festpunktfeldes. Die ebenen Koordinaten (Rechtswert/Hochwert) bzw. die Höhe werden nach den Vorgaben gemäß Kapitel 6.2 und 6.3 ermittelt.
- (2) Schaffung des trassenbegleitenden Festpunktnetzes mit Punktabständen von ca. 200 m (vgl. Abschnitt 8) für die bauausführenden Vermessungsarbeiten. Die Koordinierung dieser Punkte (Lage und Höhe) erfolgt unter Zwangsanschluss an den übergeordneten Festpunktrahmen.

Für den Netzaufbau in zwei Stufen bestehen u.a. folgende Gründe:

- (1) Die notwendige Netzhomogenität über die gesamte Planungs- und Bauphase;
- (2) Die fachlich ausgewogene und unter vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand vorzunehmende Anbindung an das Landessystem (siehe Abschnitt 7.4);
- (3) Unterschiedliche zur Anwendung kommende Messverfahren.

## 7 Übergeordnetes Festpunktnetz des MKS

Nach dem geodätischen Grundprinzip "Vom Großen ins Kleine" ist ein grobmaschiges Netz mit Punktabständen von ca. 3000 m entlang der Trasse anzulegen. Dieses Punktfeld dient zunächst der Feinplanung bzw. Feintrassierung.

Darüber hinaus bildet es vor allem den Rahmen, in den das trassenbegleitende Festpunktnetz für die baubegleitenden Vermessungsarbeiten (siehe Abschnitt 8) eingebunden wird.

Die Punkte des übergeordneten Festpunktnetz sind so zu erkunden, dass

- (1) eine dauerhafte Punktstabilität gewährleistet ist,
- (2) GPS-Messungen durchgeführt werden können (geringe Abschattungen),
- (3) Zwangspunkte für die Feintrassierung erfasst werden können,
- (4) der spätere Anschluss des trassenbegleitenden Festpunktnetzes (mit höherer Punktdichte) ermöglicht wird (Zugänglichkeit, Sichtverbindungen, Standsicherheit) und
- (5) nach Möglichkeit Sichtverbindungen zu den benachbarten Punkten des übergeordneten Festpunktnetzes bestehen.

Die Erkundung ist in einem Netzentwurf inkl. Erläuterungsbericht unter Berücksichtigung der zum Einsatz kommenden Messverfahren zu dokumentieren.

Mittels einer simulierten Ausgleichsberechnung ist der Netzentwurf bzgl. Qualität und Wirtschaftlichkeit zu prüfen und ggf. zu optimieren.

Die ebenen Koordinaten (Rechtswert/Hochwert) bzw. die Höhe werden nach den Vorgaben gemäß Kapitel 6.2 und 6.3 ermittelt.

### 7.1 Lagebestimmung

Die Lagebestimmung der Punkte des übergeordneten Festpunktnetzes sollte mit satellitengestützten Messverfahren erfolgen.

Zur unabhängigen Maßstabskontrolle sind ausgewählte Seitenlängen des Festpunktnetzes mittels konventioneller Messverfahren (elektrooptische Distanzmessung) zu bestimmen.

Die freie Lagerung im Landessystem erfolgt über identische Punkte (z.B. EUREF-, DREF-Punkte oder TPs höherer Ordnung). Eine Maßstabsreduktion ist bei Bedarf anzuwenden.

Die resultierenden Lagekoordinaten werden nach Kapitel 6.2 in das ebene, rechtwinklige MKS umgerechnet.

Alle Parameter sind gemeinsam mit den GPS-Messungen dreidimensional auszugleichen.



Die aufgeführten Lagegenauigkeiten sind einzuhalten:

- Punktbezogene Genauigkeit nach HELMERT < 5 mm
- Relative Genauigkeit der Basislinien < (5 mm + 1 ppm)

## 7.2 Höhenbestimmung

Die Höhenbestimmung der Festpunkte des übergeordneten Festpunktrahmens erfolgt mittels geometrischem Feinnivellement.

Der aufgeführte Widerspruch (D) des Hin- und Rücknivellements zwischen zwei benachbarten Festpunkten ist einzuhalten :

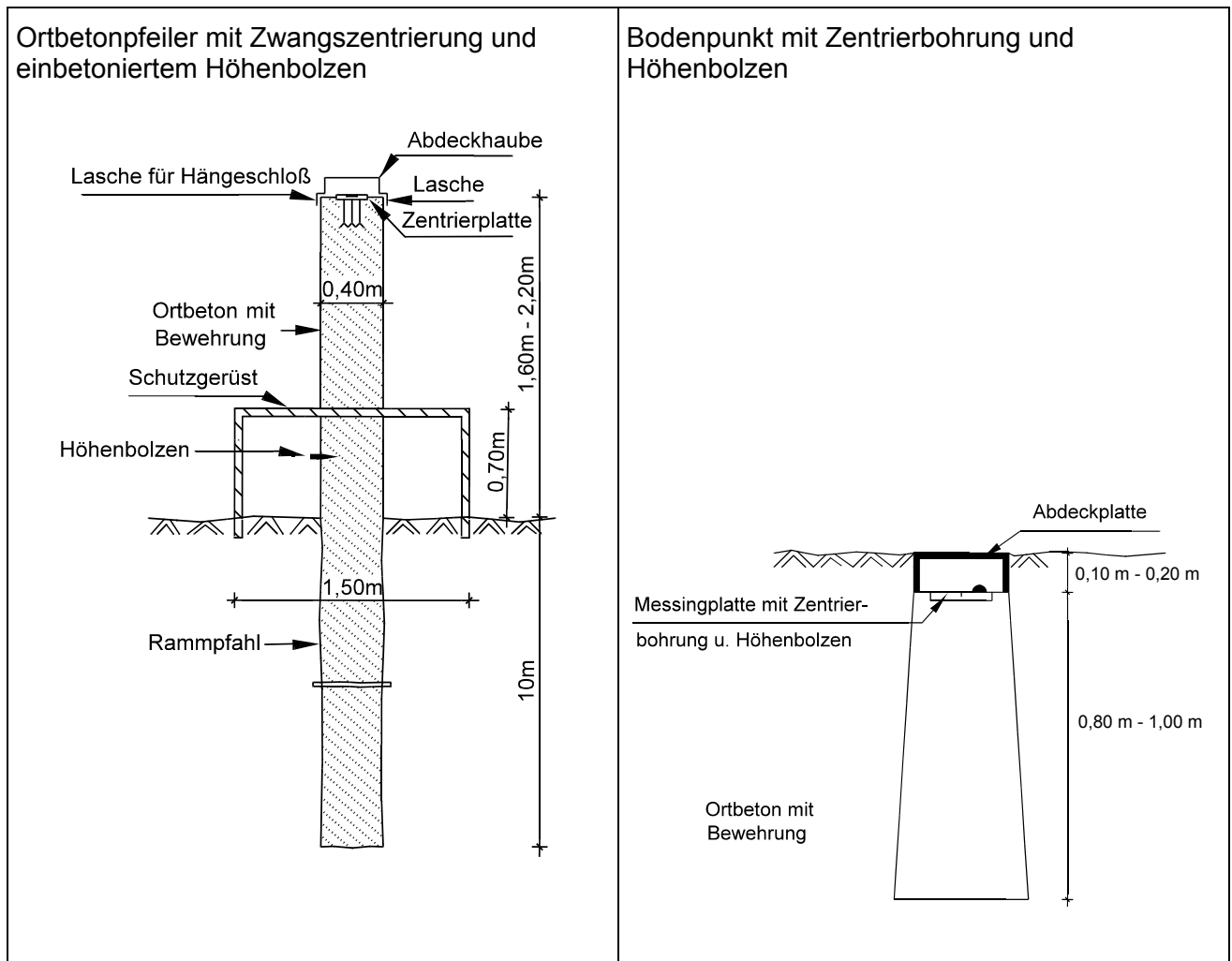
$$D[\text{mm}] = \pm 3 \cdot \sqrt{S[\text{km}]} \quad (3)$$

Zur Definition des Höhensystems des MKS sowie zum verfahrensmäßigen Ablauf der Ausgleichung siehe Abschnitt 6.3.

### 7.3 Vermarkung

Die einzelnen Festpunkte (Lage und Höhe) sind standsicher und dauerhaft zu vermarknen.

Die Vermarkung (Beispiele siehe Abbildung 3) ist wegen einer möglichen Anfangssetzung frühzeitig vorzunehmen.



**Abbildung 3: Beispiele für die Ausführung von Festpunktvermarkungen**

## **7.4 Transformation des Planungssystem in das MKS**

Die Planungsunterlagen aus dem Landessystem sind jeweils abschnittsweise über eine 4 Parameter-Transformation in das MKS zu überführen.

Dazu sind aus jeweils zwei benachbarten Festpunkten des übergeordneten Festpunktnetzes für die 4-Parameter-Lagetransformationen die Parameter

- (1) 2 x Translation
- (2) 1 x Rotation
- (3) 1 x Maßstabsfaktor

zu ermitteln.

Grafische Planungsinhalte sind über die ermittelten Transformationsparameter abschnittsweise zu transformieren.

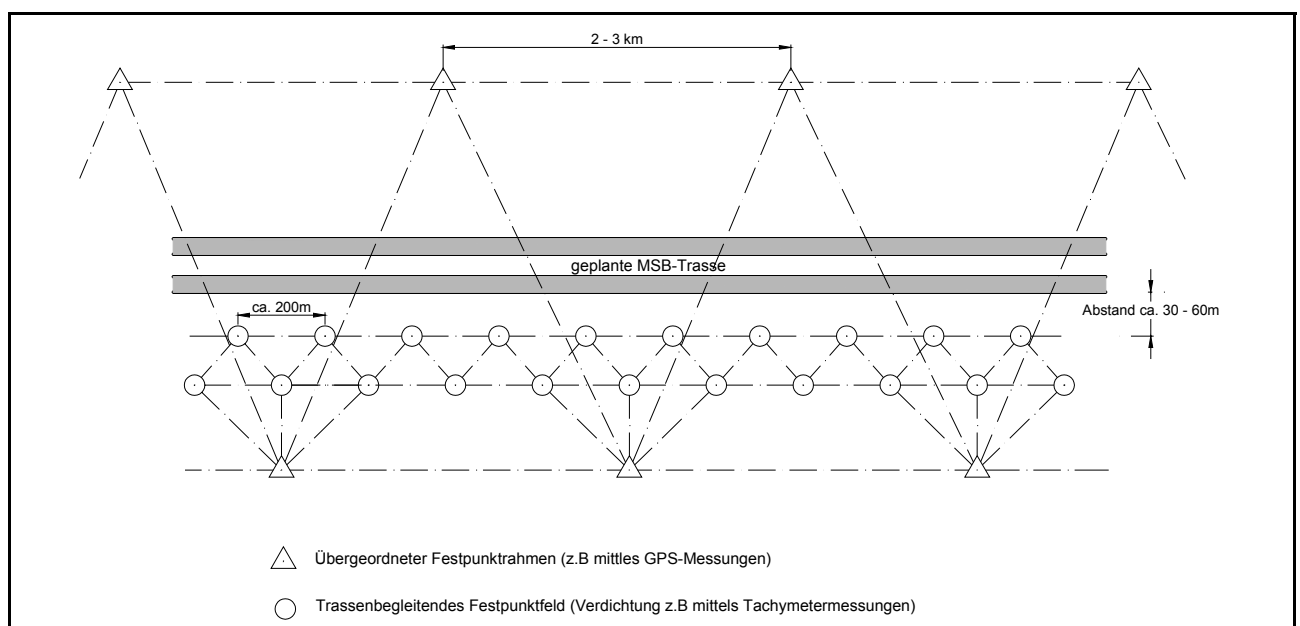
## 8 Trassenbegleitendes Festpunktnetz im MKS

Als Grundlage aller baubegleitenden Vermessungsarbeiten (Absteckung, Feinpositionierung, Abnahme usw.) ist das in Kapitel 7 beschriebene übergeordnete Festpunktnetz zu verdichten.

Die Punktabstände des trassenbegleitendes Festpunktnetzes betragen ca. 200 m.

Der seitliche Abstand der Festpunkte zum geplanten Fahrweg beträgt i.d.R. 30 m bis 60 m (siehe Abbildung 4).

In Sonderfällen (z.B. Stationsbereiche, Kreuzungsbauwerke) ist ein kleineres Verdichtungsintervall bzw. ein kleinerer seitlicher Abstand zur Magnetschnellbahntrasse möglich.



**Abbildung 4: Empfohlenes trassenbegleitendes Festpunktfeld**

Die Koordinierung dieser Punkte (Lage und Höhe) erfolgt unter Zwangsanschluss an das übergeordnete Festpunktnetz.

## 8.1 Lagebestimmung

Die Lagebestimmung des trassenbegleitenden Festpunktfeldes ist entsprechend dem jeweiligen Stand der Messtechnik mit hoher Genauigkeit durchzuführen.

Die aufgeführten Lagegenauigkeiten sind einzuhalten:

- Punktbezogene Genauigkeit nach HELMERT < 2 mm

Die Messgenauigkeiten für das trassenbegleitende Lagefestpunktnetz sind wie folgt festgelegt:

Standardabweichung des arithmetischen Mittels

- einer gemessenen Richtung  $s_{a(Hz)} = 0,2 \text{ mgon}$
- einer gemessenen Strecke zum benachbarten Punkt  $s_{a(Sh)} = 1,0 \text{ mm}$

Die Koordinatenberechnung (Lage) aller zwischen zwei Punkten des übergeordneten Festpunktrahmens neu festgelegten Festpunkte erfolgt durch gemeinsame Netzausgleichung im ebenen (Rechtswert/Hochwert)-System des MKS.

Den einzelnen Messelementen ist ein ihren Standardabweichungen entsprechendes Gewicht zuzuordnen.

Die nachfolgend aufgeführte Ausgleichsgenauigkeit ist einzuhalten:

$$s_{a((\Delta\text{Rechts}, \Delta\text{Hoch})} = 1,0 \text{ mm} \quad \text{ausgeglichenen Koordinatendifferenz}$$

*Standardabweichungen der ausgeglichenen Koordinatendifferenzen  $\Delta\text{Rechtswert}$  bzw.  $\Delta\text{Hochwert}$  zweier benachbarter trassenbegleitender Festpunkte*

## 8.2 Höhenbestimmung

Die Höhenbestimmung des trassenbegleitenden Festpunktnetzes erfolgt mittels geometrischem Feinnivellement.

Der aufgeführte Widerspruch (D) des Hin- und Rück-Nivellement zwischen zwei benachbarten trassenbegleitenden Festpunkten ist einzuhalten :

$$D[\text{mm}] = \pm 3 \cdot \sqrt{S[\text{km}]} \quad (4)$$

Die Messwerte sind abschnittsweise zu Höhennetzen zusammenzustellen und unter Zwangsanschluss an den übergeordneten Höhenfestpunktrahmen auszugleichen.

Werden Höhenpunkte des Landeshöhenfestpunktfeldes in das MKS einbezogen, so sind diese wie Neupunkte zu behandeln, d.h. die bereits vorliegenden Landeshöhen bleiben unberücksichtigt.

Die nachfolgend aufgeführte Ausgleichungsgenauigkeit ist einzuhalten:

$$s_{a(\Delta\text{Höhe})} = 1,0 \text{ mm} \quad \text{ausgeglichenen Höhenunterschied}$$

*Standardabweichung eines ausgeglichenen Höhenunterschiedes zweier benachbarter trassenbegleitender Festpunkte*

## 9 Feinpositionierung der Fahrwegträger

Die Feinpositionierung der Fahrwegträger erfolgt zeitlich versetzt nach der Grobmontage (dem Auflegen) der Fahrwegträger.

Das Verfahren zur Feinpositionierung ist projektabhängig zu erstellen.

Die geometrischen Anforderungen an die Funktionsebenen innerhalb der Fahrwegträger sind in /MSB AG-FW GEO/ beschrieben.

Dabei sind für die beiden Funktionsebenen Statorebene SE (in z-Richtung) und Seitenführebene SFE (in y-Richtung) die langwelligigen Abweichungen unter Berücksichtigung der berechneten Soll-Vorkrümmung zu berechnen.

Die Anforderungen an die relative räumliche Lage werden aus den zulässigen langwelligenen Abweichung innerhalb der Fahrwegträger abgeleitet.

Die Einhaltung der zulässigen Toleranzen für diese langwellige Abweichungen in y- und z-Richtung des TFK (Trägerfertigungskoordinatensystem, (/MSB AG-FW GEO/)) verhindert unplanmäßige Beschleunigungen und Rucke.

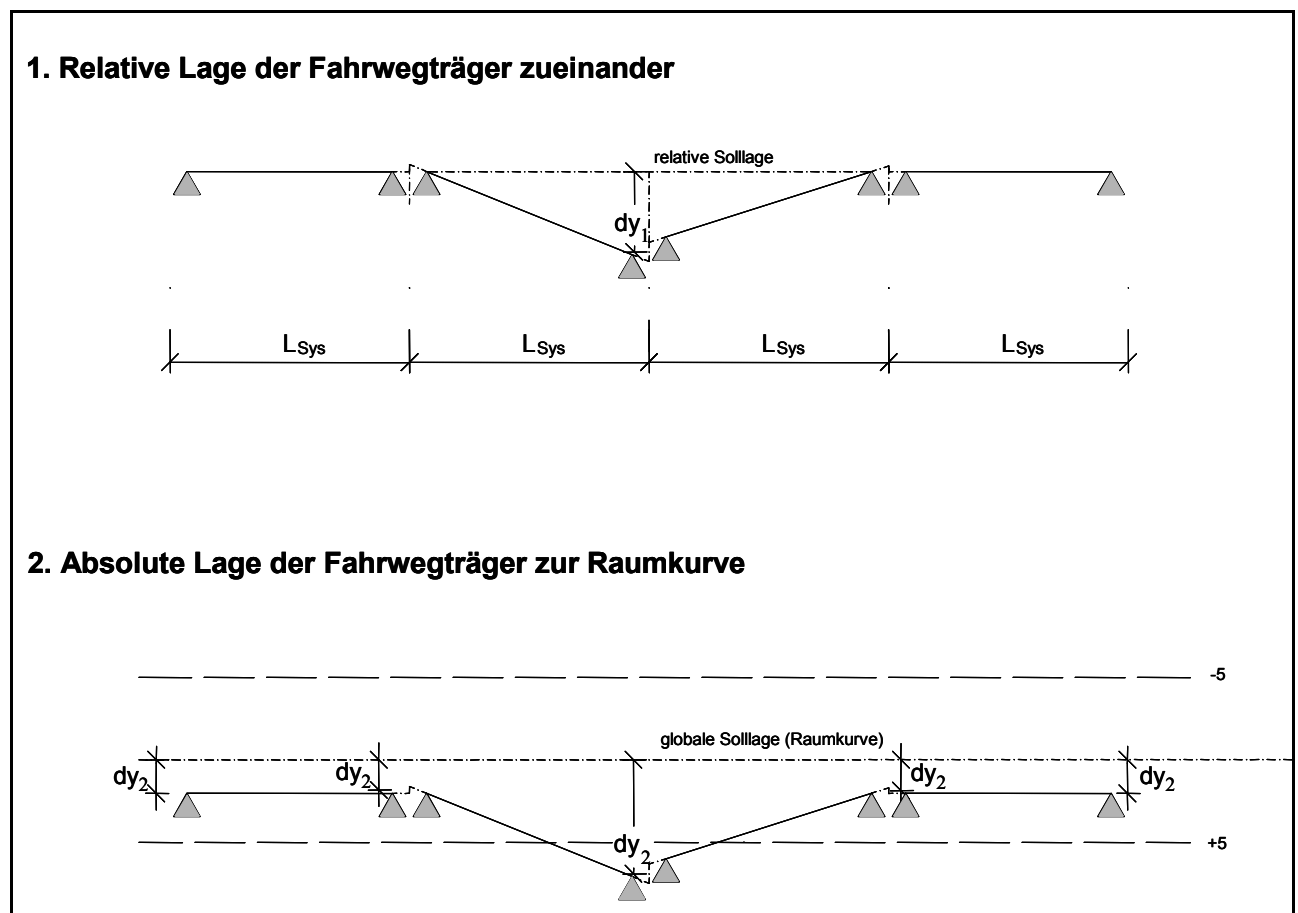


Abbildung 5: Anforderungen an die Feinpositionierung von Fahrwegträgern

Für die Feinpositionierung eines Fahrwegträgers unterteilen sich die Anforderungen an die

- relative räumliche Lage (jeweils unter Betrachtung des vorherigen und nachfolgenden Fahrwegträger) und
- absolute räumliche Lage (Lage des Fahrweg zur Raumkurve).

Die Messpunkte an den Funktionsebenen Statorebene (SE), Seitenführschiene (SFE) und Gleitebene (GE) sind in /MSB AG-FW GEO/ innerhalb des Trägers definiert.

Die Anforderungen beziehen sich auf die gemittelte Trägerlage im Trägerstoß (Systemachse). Die zulässige Toleranz der relative räumlichen Lage der Fahrwegträger (Träger übergreifend) beträgt im Trägerstoß:

Für Trägerlängen > 12,384 m:

$$dy_1 = \pm \frac{2,0}{24768} \cdot L_{\text{sys}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

$$dz_1 = \pm \frac{2,0}{24768} \cdot L_{\text{sys}} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

mit  $L_{\text{sys}}$  = Feldweite (z.B. 24768 mm)

Für Trägerlängen < 12,384 m:

$$dy_1 = \pm 1,0 \quad [\text{mm}]$$

$$dz_1 = \pm 1,0 \quad [\text{mm}]$$

*Die geometrischen Anforderungen an den Versatz und das NGK im Trägerstoß sind in /MSB AG-FW GEO/ definiert.*

Die zulässige Toleranz der absoluten räumlichen Lage der Fahrwegträger zur geplanten Raumkurve beträgt im Trägerstoß:

$$dy_2 = \pm 5,0 \quad [\text{mm}]$$

$$dz_2 = \pm 5,0 \quad [\text{mm}]$$



## **10 Dokumentation**

*Die Anforderungen an die Qualitätssicherung und Dokumentation sind in /MSB-AG FW ÜBG/ festgelegt.*

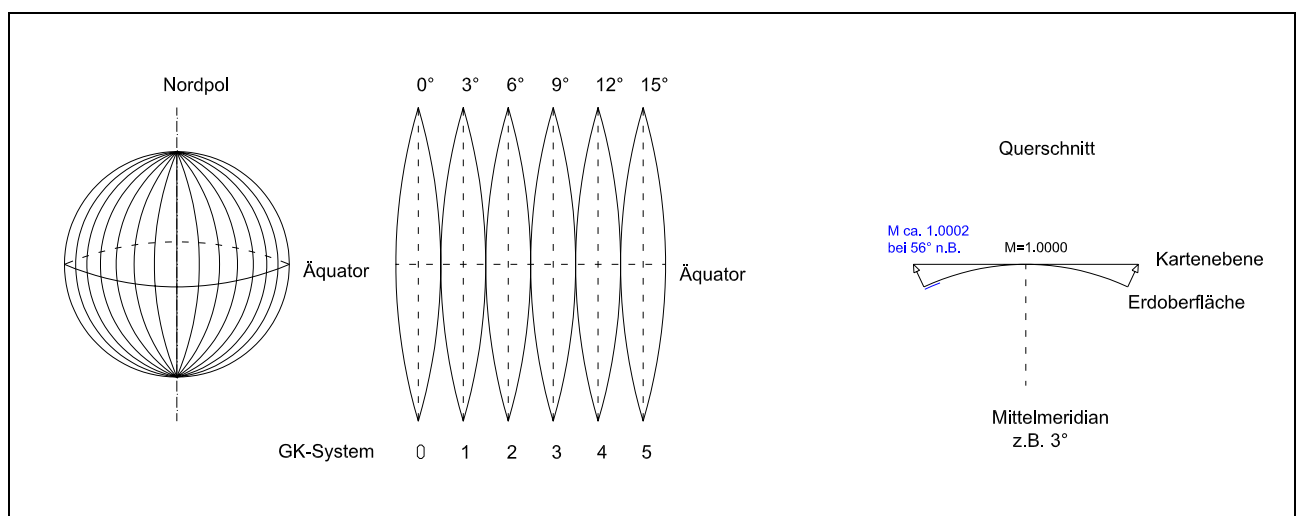
## Anhang V-A Gauß-Krüger-Koordinatensystem

*Amtliche topografische Kartenwerke, insbesondere großer und mittlerer Maßstäbe, bauen auf dem Gauß-Krüger-Koordinatensystem auf.*

*Gauß-Krüger-Koordinaten sind eine konforme Abbildung des Erdellipsoids in die Ebene.*

*Die Erde wird in 3° breite Meridianstreifen aufgeteilt. Seine begrenzenden Meridiane liegen genau 3° auseinander. In der Mitte des Meridianstreifens verläuft der s.g. Mittelmeridian.*

*Jeder Meridianstreifen erhält eine Kennziffer. Diese leitet sich nach der klassischen Festlegung aus den ganzzahligen Vielfachen von 3° für den Mittelmeridian ab (0°, 3°, 6°, ...).*



**Abbildung 6: Maßstabsverzerrung beim Gauß-Krüger-System**

*Zur Kartenabbildung wird die gekrümmte Erdoberfläche auf die Kartenebene projiziert. Die dabei entstehenden Abbildungsverzerrungen nehmen mit zunehmender Entfernung zum Mittelmeridian zu (siehe Abbildung 6).*

*Diese lokal unterschiedlichen Längenverzerrungen müssen bei der Feinplanung (Feintrassierung) und der örtlichen Umsetzung von allen relevanten Teilsystemen der Magnetschnellbahn rechnerisch berücksichtigt werden. Eine durchgehende Trassierungsberechnung mit „wahren“ Längen ist nicht möglich.*

*Alle relevanten Bauteile (z.B. Fahrwegträger, Langstatoren) und z.B. das Ausrüstungsverzeichnis wären im Planungskoordinatensystem mit entsprechenden Maßstabsfaktoren zu berücksichtigen.*

## Anhang V-B Universale, transversale Mercatorabbildung

Für die Landesvermessung aller Bundesländer wird das ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) mit UTM-Abbildung ab 2009 verbindlich vorgeschrieben.

Das ETRS89 ist ein dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem. Es bezieht sich auf geozentrische Koordinaten deren Ursprung im Geozentrum (Massenmittelpunkt der Erde) liegt. Bei der UTM-Abbildung wird das Erdellipsoid in 6°-breite Streifen eingeteilt, die alle durch die Pole laufen und im Äquator die größten Abstände zueinander haben.

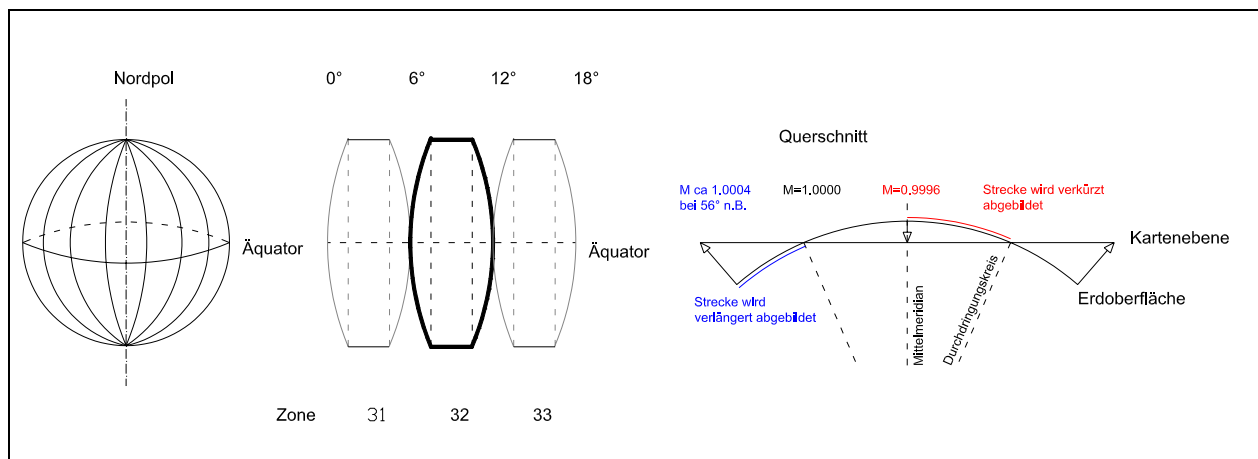


Abbildung 7: Maßstabsverzerrung beim UTM-System

Zur UTM-Abbildung wird die gekrümmte Erdoberfläche auf die Kartenebene über 2 Durchdringungskreise projiziert. Nur auf den Durchdringungskreisen ist die Abbildung längentreu. Zwischen den Durchdringungskreisen werden die Strecken gestaucht, außerhalb der Durchdringungskreise werden die Strecken gedehnt (siehe Abbildung 7).

Diese lokal unterschiedlichen Längenverzerrungen müssen bei der Feinplanung (Feintrassierung) und der örtlichen Umsetzung von allen relevanten Teilsystemen der Magnetschnellbahn rechnerisch berücksichtigt werden. Eine durchgehende Trassierungsberechnung mit „wahren“ Längen ist nicht möglich.

Alle relevanten Bauteile (z.B. Fahrwegträger, Langstatoren) und z.B. das Ausrüstungsverzeichnis wären im Planungskoordinatensystem mit entsprechenden Maßstabsfaktoren zu berücksichtigen.