

# Ausschlusskriterium „Großräumige Vertikalbewegungen“

---

*es ist eine großräumige geogene Hebung von im Mittel mehr als 1 mm pro Jahr über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahren zu erwarten*

§ 22 Abs. 2 Nummer 1 StandAG

---

## Was sind großräumige Vertikalbewegungen?

Großräumige Vertikalbewegungen umfassen Hebungs- oder Senkungsbewegungen der Lithosphäre (Erdkruste und oberer Erdmantel). Eine wesentliche Ursache für solche Vertikalbewegungen sind Veränderungen im dynamischen Gleichgewichtszustand zwischen der Lithosphäre<sup>1</sup> und dem darunterliegenden duktilen (verformbaren) Erdmantel. Verändert sich die Dicke oder das Gewicht der Lithosphäre, kommt es zu sogenannten isostatischen Ausgleichsbewegungen. Mögliche Auslöser hierfür sind Mächtigkeitsänderungen der Erdkruste durch magmatische oder gebirgsbildende Prozesse, die insbesondere entlang von tektonisch aktiven kontinentalen Plattengrenzen auftreten. Zusätzlich führen Massenänderungen an der Oberfläche der Lithosphäre durch Erosion und Vergletscherung zu bedeutenden Vertikalbewegungen (Teixell et al., 2009). Auch die Dynamik des Erdmantels beeinflusst die Oberflächengestalt der Erde. So kann eine Veränderung der Konvektionsbewegungen im Erdmantel Vertikalbewegungen in dem darüber liegenden Lithosphärenteil bewirken (Sleep, 1990).

## Großräumige Vertikalbewegungen in Deutschland – Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft

Vor der Oberkreide (vor 100 Millionen Jahren) liegen in Deutschland keine Hinweise auf bedeutende Hebungsphasen vor. Dieser Zeitraum ist vorwiegend von Subsidenz (Absenkung) und Grabenbildung im norddeutschen Raum geprägt, während der süddeutsche Raum als relativ stabile Plattform nur geringe Vertikalbewegungen aufweist (Lange et al., 2008; Jähne-Klingenberg et al., 2019).

Zu Beginn der Oberkreide verändert sich jedoch das Spannungsregime in Deutschland. Dieser Wechsel wird der beginnenden Konvergenzbewegung zwischen Afrika, Iberia und Europa zugeschrieben, sodass es als Fernwirkung in Teilen Deutschlands zu Einengungstektonik und Strukturinversionen kommt (Kley & Voigt, 2008). Dabei wurden in Mittel- und Norddeutschland sowohl bestehende Abschiebungen (Dehnungsstrukturen) als auch Aufschiebungen (Stauchungsstrukturen) reaktiviert, sowie neue Aufschiebungen gebildet. Da die Hebung entlang diskreter Aufschiebungen erfolgte, erfuhren nur isolierte Bereiche (unter anderem der Harz, das Niedersächsische Bergland sowie der Thüringer Wald und die Lausitz) erhöhte Hebungs-

---

<sup>1</sup> Als Lithosphäre wird die äußerste Schicht des Erdkörpers bezeichnet. Sie umfasst die Erdkruste und den äußersten Teil des Erdmantels, den lithosphärischen Mantel. Die Lithosphäre kann insgesamt als starr bezeichnet werden.

beträge (Thomson & Zeh, 2000; Kockel, 2003; Lange et al., 2008). Im Harz waren die Hebungsbewegungen derart stark ausgeprägt, dass Erosionsraten von im Mittel 1000 m innerhalb von einer Million Jahre erreicht wurden (von Eynatten et al., 2007). Über den Harz hinaus hielt die oberkretazische Einengungsphase bis zum Beginn des Känozoikums vor 66 Millionen Jahren an. Seit diesem Zeitpunkt wurden mit Ausnahme der zentralen Alpen in Deutschland keine vergleichbaren Hebungsraten mehr erreicht (Jähne-Klingenberg et al., 2019).

Die Heraushebung der Alpen beginnt im Eozän (56 bis 34 Millionen Jahren) (Froitzheim et al., 2008). Die gegenwärtige Hebung der östlichen Alpen ist durch eine Kombination verschiedener Prozesse zu erklären: Durch isostatische Ausgleichsbewegungen nach Gletscherauflast und Erosion sowie durch tektonische Krustenverdickung und Mantelkonvektion (Sternai et al., 2019). Die aktuellen Hebungsraten der Alpen betragen 1-2 mm pro Jahr und sind zu einem großen Anteil den isostatischen Ausgleichsbewegungen nach Abschmelzen der Gletscher der letzten Eiszeit zuzuschreiben. Die Zeitspanne einer solchen postglazialen Ausgleichsbewegung liegt in der Größenordnung von 10 000 Jahren, sodass der Anteil dieser Bewegungskomponente in geologisch naher Zukunft abgeklungen sein wird (Mey et al., 2016).

Die Bildung des Oberrheingrabens ist vermutlich auf das kombinierte Wirken der Alpen und Pyrenäenbildung zum einen und der Öffnung des Atlantiks zum anderen zurückzuführen (Reicherter et al., 2008). Seit der Hauptphase der Grabenbildung wurden an dessen Flanken der Schwarzwald und die Vogesen in den letzten 34 Millionen Jahren um insgesamt 2500 m herausgehoben (Meschede, 2018; Jähne-Klingenberg et al., 2019).

Für die in der Eifelregion beobachteten Hebungen werden thermische Mantelanomalien (Ritter et al., 2001; Keyser et al., 2002) oder eine elastische Verbiegung der Erdkruste (Klein et al., 2016) diskutiert. Während für aktuelle Hebungen in der Eifel über den Zeitraum von 1983 bis 2007 Hebungsraten von 0,75-1,25 mm pro Jahr gemessen wurden, sind längerfristig gemittelte Hebungsraten über die letzten 800.000 Jahre mit 0,06-0,38 mm/Jahr bedeutend geringer (Meyer & Stets, 2002; Klein et al., 2016).

Ausgehend von der geologischen Überlieferung entwickeln Jähne-Klingenberg et al. (2019) vier unterschiedliche Zukunftsszenarien über das Eintreten von Hebungseignissen in den nächsten 1 Million Jahren in Deutschland. Variiert wurde zwischen den Szenarien sowohl die Intensität der endogenen (z.B. Magmatismus) und exogenen (z.B. Erosion) Prozesse mit Einfluss auf den zukünftigen Hebungsbetrag als auch der zugrundeliegende zeitliche Bezugsrahmen (z.B. endogene und exogene Prozesse wie sie im Holozän, im Neogen oder im Känozoikum beobachtet wurden). Im Ergebnis zeigt sich, dass auf Basis der vorliegenden Datengrundlage und dem derzeitigen Prozessverständnis keine Hebungsbeiträge von mehr als 1 mm pro Jahr über den Nachweiszeitraum von einer Million Jahre in Deutschland wahrscheinlich sind.

Gründe für diese Einschätzung basieren unter anderem auf der intrakontinentalen Lage Deutschlands - weit entfernt von aktiven Plattenrändern - und der geringen Wahrscheinlichkeit, dass sich das grundlegende geodynamische Umfeld innerhalb des Nachweiszeitraumes drastisch verändern wird. Diesbezüglich sei darauf hingewiesen, dass der Nachweiszeitraum von einer Million Jahren für endogene Veränderungen in geologischen Zeitskalen eher kurz ist. Auch Studien mit einer ähnlichen Fragestellung für das Gebiet der Nordschweiz zeigen, dass Hebungsraten von mindestens 1 mm pro Jahr für die nächsten eine Million Jahre nicht zu erwarten sind, sondern im Bereich von 0,1 mm pro Jahr liegen (Müller et al., 2002; Nagra, 2002).

## Wieso werden großräumige Vertikalbewegungen von der Endlagersuche ausgeschlossen?

Der Ausschluss von Vertikalbewegungen wird im Standortauswahlgesetz (StandAG) mit dem Ausschlusskriterium „Großräumige Vertikalbewegungen“ geregelt. Laut § 22 StandAG sollen Gebiete mit Hebungen von im Mittel mehr als 1 mm pro Jahr über den Nachweiszeitraum von einer Millionen Jahre ausgeschlossen werden – das entspricht einem Hebungsbeitrag von einem Kilometer innerhalb der nächsten eine Million Jahre (Abbildung 1). Weiterführende Erklärungen zu diesem Kriterium liefert der Begründungstext zum StandAG (BT-Drs. 18/11398), wo auf einen Zusammenhang zwischen Hebungsbewegungen und Erosion – und damit einer möglichen Freilegung des Endlagers – verwiesen wird:

---

*Durch das Kriterium werden Gebiete ausgeschlossen, in denen über den Nachweiszeitraum großräumige Hebungen zu erwarten sind. Bewertungsgrundlage für das Kriterium ist die zu erwartende Hebungsrate, also die entsprechend heutiger Prognosen zu erwartende Hebung der Erdoberfläche pro Jahr, die wiederum über den Nachweiszeitraum zu mitteln ist. Liegt diese Hebungsrate im Mittel über 1 mm pro Jahr, so wäre über den Nachweiszeitraum mit einer resultierenden Hebung von mehr als 1000 m zu rechnen. Für Gebiete, die derart großen Hebungen ausgesetzt sind, ist eine Prognose der geologischen Gesamtsituation nicht mit der erforderlichen Sicherheit möglich. Es ist nicht auszuschließen, dass an der Geländeoberfläche verstärkt Erosion auftritt, die die notwendige Schutzwirkung der Überdeckung des Endlagers beeinträchtigen oder diese Schichten vollständig abtragen kann.*

Quelle: Bundestag-Drucksache 18/11398, S. 68

## So will die BGE das Ausschlusskriterium „Großräumige Vertikalbewegungen“ anwenden

(Sollte sich auf Grundlage von Fachdiskussionen die Notwendigkeit einer methodischen Anpassung ergeben, kann der hier gezeigte Zwischenstand von dem Ergebnis im Zwischenbericht Teilgebiete abweichen.)

Ein Ausschluss erfolgt für Gebiete in denen eine Hebung der Erdoberfläche von mehr als einem Kilometer innerhalb der nächsten eine Million Jahre als wahrscheinlich angesehen wird. Diese Gebiete werden in allen endlagerrelevanten Tiefen ausgeschlossen. Das derzeitige Prozessverständnis und die Ergebnisse von Jähne-Klingenberg et al. (2019) verdeutlichen jedoch, dass derartige Hebungsbeiträge und Raten über den Nachweiszeitraum in Deutschland nicht wahrscheinlich sind. Daher wird es voraussichtlich im Zwischenbericht Teilgebiete zu keinem Ausschluss auf Grundlage dieses Kriteriums kommen.

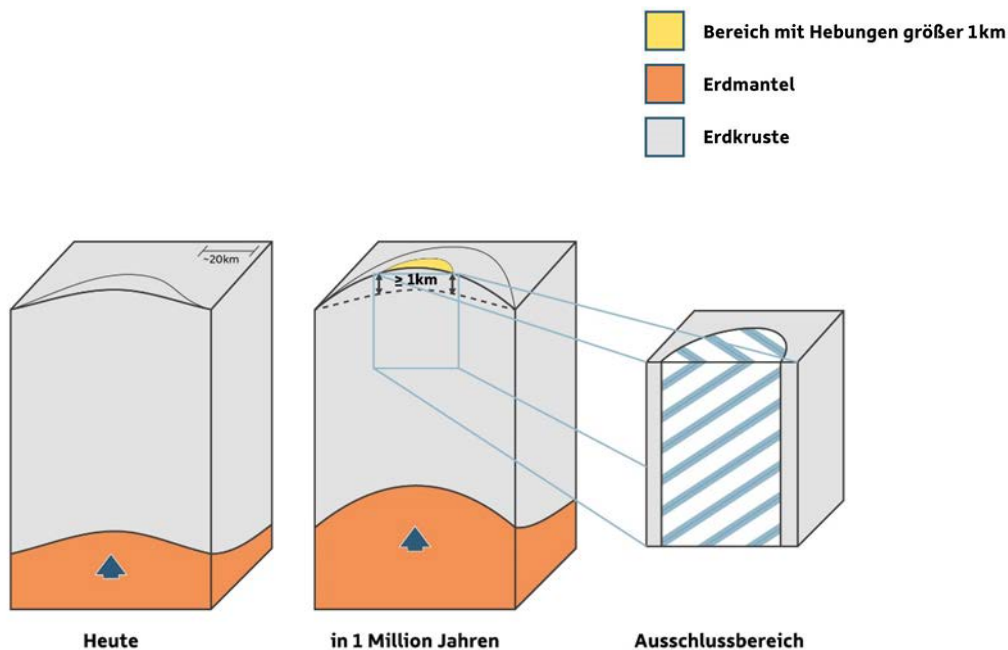


Abbildung 1: Ausschlussmethodik für großräumige Vertikalbewegungen

## Konsultation zur Anwendung des Ausschlusskriteriums

Gerne möchten wir die Anwendung des Ausschlusskriteriums „Hebungen“ mit Ihnen diskutieren. Haben Sie Fragen oder Anregungen zum Verfahren oder Erkenntnisse, die uns bei der Anwendung helfen können? Teilen Sie uns diese mit.

Hier geht's zur Online-Konsultation: [www.forum-bge.de](http://www.forum-bge.de)

## Literaturverzeichnis

Drucksache des Deutschen Bundestages 18/11398 vom 07.03.2017: Entwurf eines Gesetzes zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze.

Froitzheim, N., Plašienka, D., Schuster, R. 2008: Alpine tectonics of the Alps and Western Carpathians. In McCann, T. (ed.) The Geology of Central Europe, Volume 2: Mesozoic and Cenozoic. Geological Society, London. 1141-1232.

Jähne-Klingberg, F., Stück, H., Bebiolka, A., Bense, F., Stark, L. 2019: Prognosemöglichkeit von großräumigen Vertikalbewegungen für Deutschland. Abschlussbericht, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich\\_%20Kriterien/2019\\_10\\_28\\_prognosemoeglichkeiten\\_vertikalbewegungen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Endlagerung/Downloads/Standortauswahl/Geowissenschaftlich_%20Kriterien/2019_10_28_prognosemoeglichkeiten_vertikalbewegungen.pdf?__blob=publicationFile&v=4).

Keyser, M., Ritter, J., Jordan, M. 2002: 3D shear-wave velocity structure of the Eifel plume, Germany, Earth and Planetary Science Letters 203, 59-82.

- Klein, W., Krickel, B., Riecken, J., Salamon, M. 2016: Eine interdisziplinäre Betrachtung der vertikalen Bodenbewegungen in der Eifel. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* 141, 27-34. DOI: 10.12902/zfv-0103-2015.
- Kley, J. & Voigt, T. 2008: Late Cretaceous intraplate thrusting in central Europe: Effect of Africa-Iberia-Europe convergence, not Alpine collision. *Geology* 36, 839-842. DOI: 10.1130/G24930a.1.
- Kockel, F. 2003: Inversion structures in Central Europe-Expressions and reasons, an open discussion. *Netherlands Journal of Geosciences* 82, 351-366. DOI: 10.1017/S0016774600020187.
- Lange, J.-M., Tonk, C., Wagner, G. 2008: Apatitspaltspuren zur postvariszischen thermotektonischen Entwicklung des sächsischen Grundgebirges – erste Ergebnisse. *Zeitschrift der deutschen Gesellschaft für Geowissenschaft* 159, 123-132. DOI: 10.1127/1860-1804/2008/0159-0123.
- Meschede, M. 2018: *Geologie Deutschlands: Ein prozessorientierter Ansatz*. Springer Spektrum, Berlin. DOI: 10.1007/978-3-662-56422-6.
- Mey, J., Scherler, D., Wickert, A.D., Egholm, D.L., Tesauro, M., Schildgen, T., Strecker, M.R. 2016: Glacial isostatic uplift of the European Alps. *Nature Communications* 7, 1-10. DOI: 10.1038/ncomms13382.
- Meyer, W. & Stets, J. 2002: Pleistocene to recent tectonics in the Rhenish Massif (Germany). *Netherlands Journal of Geoscience* 81, 217-221. DOI: 10.1017/S0016774600022460.
- Müller, W. H., Naef, H., Graf, H. R. 2002: *Geologische Entwicklung der Nordschweiz, Neotektonik und Langzeitszenarien*. Züricher Weinland. Technischer Bericht 99-08, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, Schweiz.
- Nagra 2002: *Projekt Opalinuston: Synthese der geowissenschaftlichen Untersuchungsergebnisse*. Technischer Bericht 02-03, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Wettingen, Schweiz.
- Reicherter, K., Froitzheim, N., Jarosiriski, M., Badura, J., Franzke, H.-J., Hansen, M., Hübscher, C. et al. 2008: Alpine tectonics north of the Alps. In McCann, T. (ed.) *The Geology of Central Europe, Volume 2: Mesozoic and Cenozoic*. Geological Society, London. 1232-1285.
- Ritter, J., Jordan, M., Christensen, U., Achauer, U. 2001: A mantle plume below the Eifel volcanic fields. Germany. *Earth and Planetary Science Letters* 186, 7-14. DOI: doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00226-6.
- Sleep, N. 1990: Hotspots and mantle plumes: Some phenomenology. *Journal of Geophysical Research* 95, 6715–6736. DOI: 10.1029/JP095iB05p06715.
- Standortauswahlgesetz (StandAG) vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2510) geändert worden ist.

- Sternai, P., Sue, C., Husson, L., Serpelloni, E., Becker, T. W., Willett, S. D., Faccenna, C. et al. 2019: Present-day uplift of the European Alps: Evaluating mechanisms and models of their relative contributions. *Earth-Science Reviews* 190, 589-604. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.01.005.
- Teixell, A., Bertotti, G., Frizon de Lamotte, D., Charroud, M 2009: The geology of vertical movements of the lithosphere: An overview. *Tectonophysics* 475, 1-8. DOI: 10.1016/j.tecto.2009.08.018.
- Thomson, S. N., & Zeh, A. 2000: Fission-track thermochronology of the Ruhla Crystalline Complex: new constraints on the post-Variscan thermal evolution of the NW Saxo-Bohemian Massif. *Tectonophysics* 324, 17-35. DOI: 10.1016/S0040-1951(00)00113-X.
- von Eynatten, E., Voigt, T., Meier, A., Franzke, H.-J., Gaupp, R. 2007: Provenance of Cretaceous clastics in the Subhercynian Basin: constrains to exhumation of the Harz Mountains and timing of inversion tectonics in Central Europe. *Geologische Rundschau* 97, 1315-1330. DOI: 10.1007/s00531-007-0212-0.