

Der elektrische Antriebsstrang mit angepasster Zwischenkreisspannung

Christian Klöffler, Martin Doppelbauer

Für den elektrischen Antriebsstrang in Elektro- bzw. Hybridfahrzeugen ergeben sich von dem Energiespeicher bis zur elektrischen Maschine verschiedene Topologien. Grundsätzlich ist zwischen einem Energiespeicher, der die Gleichspannung U_{Sp} zur Verfügung stellt, und einer Drehstrom-E-Maschine ein Inverter notwendig. Je nach Art des Energiespeichers unterscheidet sich der betriebsbedingte Abfall der Speicherspannung U_{Sp} . Dies kann zusätzlich eine Anpassung der Zwischenkreisspannung U_{ZK} mittels DC/DC-Wandler notwendig machen (Abbildung 1). Die Anpassung der Zwischenkreisspannung kann dann jedoch als zusätzlicher Freiheitsgrad für eine Wirkungsgradoptimierung genutzt werden.

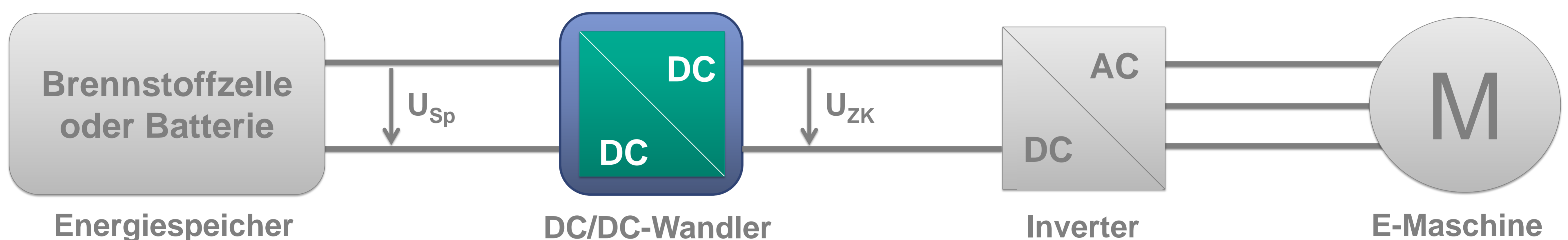


Abbildung 1: Elektrischer Antriebsstrang im E-Fahrzeug

Einbruch der Speicherspannung

Bei einer Brennstoffzelle für den Kfz-Bereich kann sich die Klemmenspannung zwischen Leerlauf und Vollast um ca. 50% verringern [1]. Bei einer Li-Ionen-Batterie beträgt bei gleichen Bedingungen der Spannungsabfall lediglich etwa 20% (Abbildung 2). In ähnlicher Größenordnung liegt auch der Spannungsabfall zwischen dem vollgeladenen und dem entladenen Zustand [2].

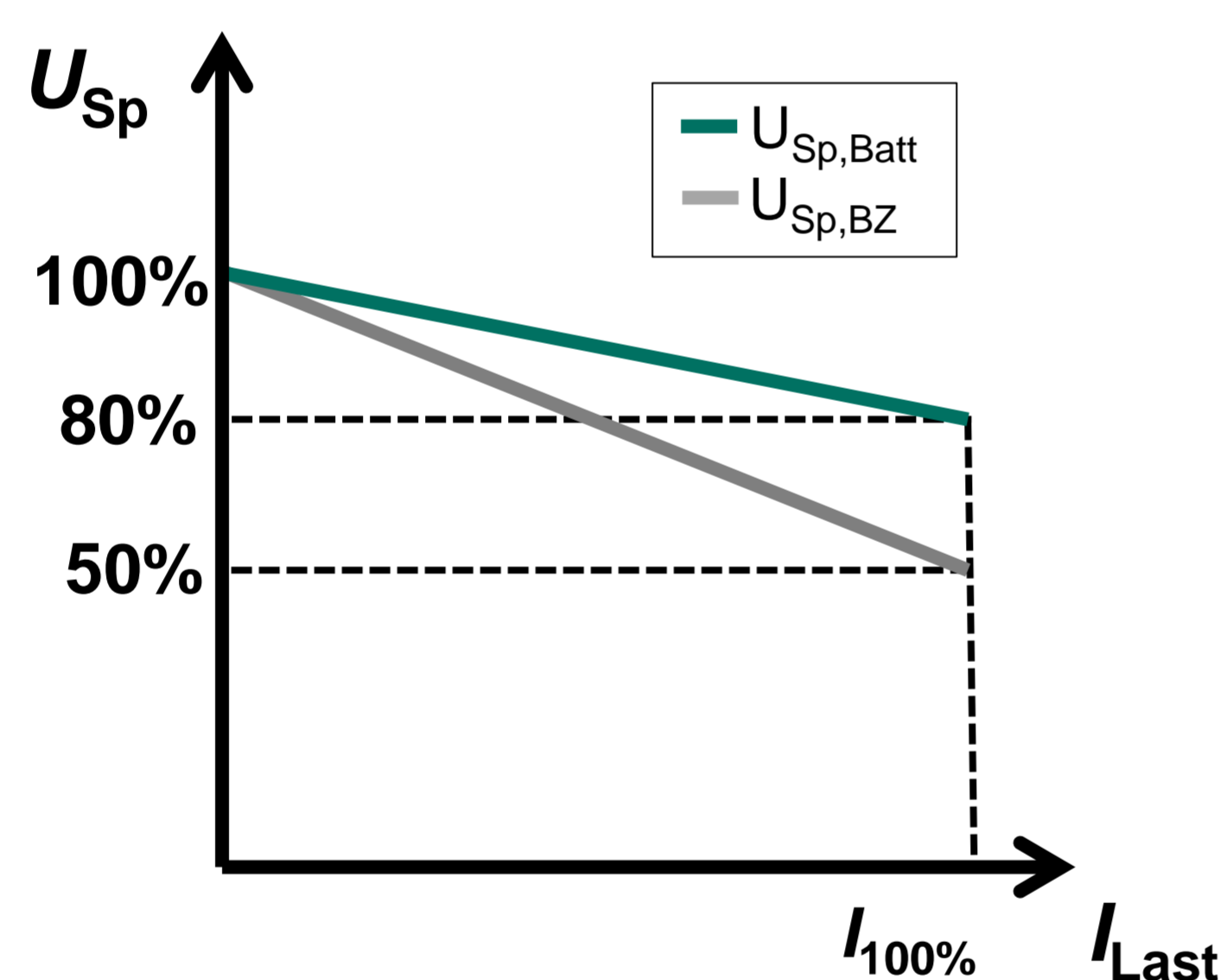


Abbildung 2: Schematischer Verlauf der Klemmenspannung

Eine Reduzierung der Speicherspannung U_{Sp} führt ohne DC/DC-Wandler unmittelbar zu einer Reduzierung der Zwischenkreisspannung U_{ZK} und somit zu abfallender maximaler Motorleistung. Bei einer Brennstoffzelle bedingt der starke Spannungseinbruch notwendigerweise eine Spannungsanpassung mittels DC/DC-Wandler. Bei Batterie betriebenen Fahrzeugen wird derzeit (Stand Anfang 2012) die Motorleistung über den gesamten Ladezustandsbereich der Batterie (SOC) regelungstechnisch auf den Leistungswert bei minimalem SOC begrenzt. Somit ist für den Fahrer keine Abhängigkeit der Motorleistung vom Ladezustand spürbar. Dies führt jedoch dazu, dass der Motor bei höherem SOC eine ungenutzte Leistungsreserve hat. Um dies zu umgehen, soll neben der Auslegung eines DC/DC-Wandlers für Brennstoffzellenfahrzeuge auch die Sinnhaftigkeit der Spannungsanpassung für Batterie betriebene Fahrzeuge untersucht werden.

Anforderungen an den DC/DC-Wandler im Kraftfahrzeug

Der (Serien-)Einsatz eines DC/DC-Wandlers im Kfz-Bereich stellt an die Komponenten der Leistungselektronik besonders hohe Anforderungen an Wirkungsgrad, Kosten und Masse. Ein vielversprechender Ansatz, um den Kriterien gerecht zu werden, stellt der multiphasige Synchronwandler mit gekoppelten Induktivitäten dar (Abbildung 3). Hierüber ist auch eine Rekuperation von Bremsenergie möglich. Die multiphasige Auslegung ermöglicht ein Downsizing der Bauteile und führt zu geringeren Verlusten. Durch die Kopplung der Spulen können die Kerne kleiner ausgelegt werden, da sich die magnetischen Flüsse der Gleichanteile der Spulenströme gegenseitig aufheben. Die Kopplung der Spulen erfordert jedoch eine komplexere Regelungsstrategie.

Anpassung der Zwischenkreisspannung

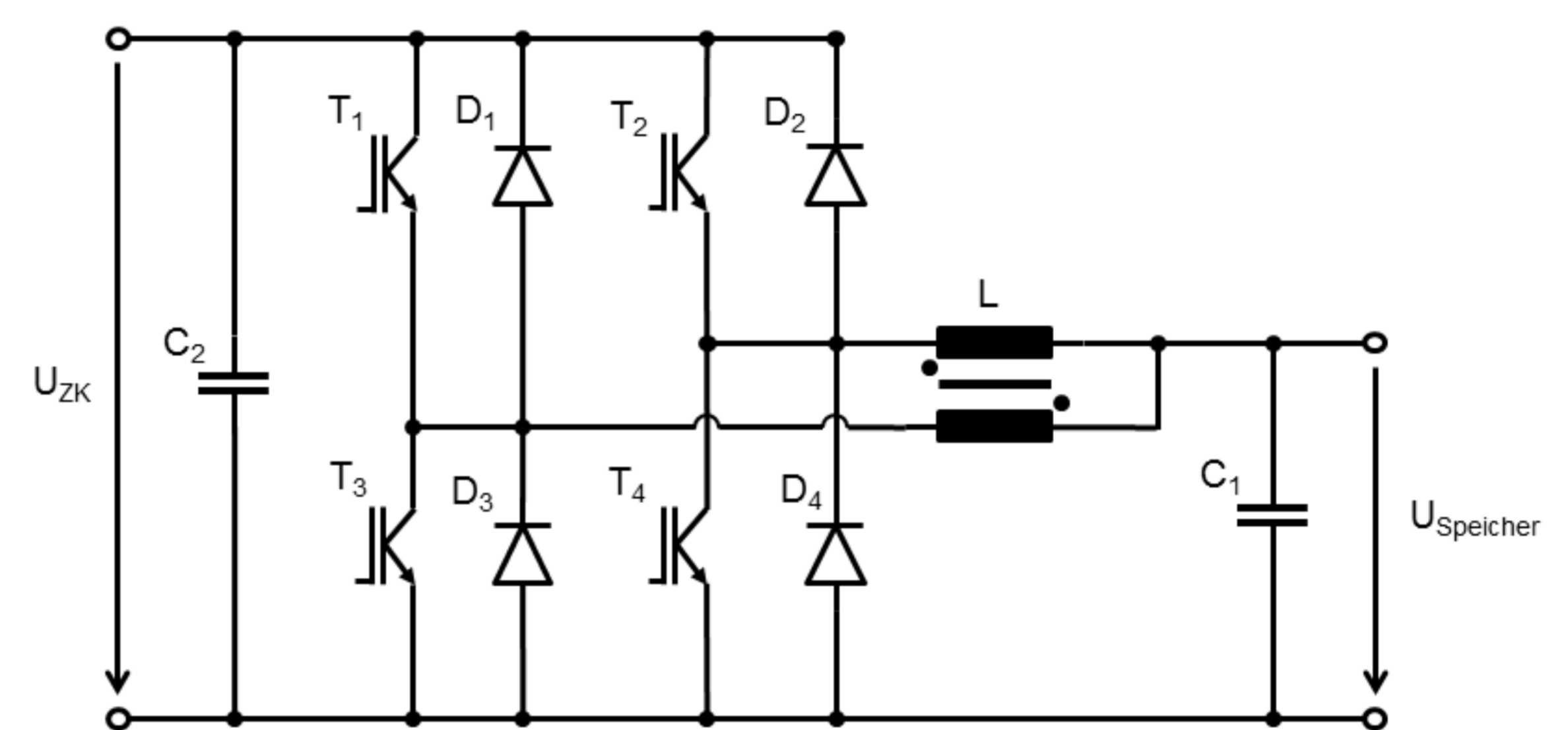


Abbildung 3: Zweiphasiger Synchronwandler

Die Zwischenkreisspannung kann beispielsweise auf den maximalen Spannungswert des Energiespeichers stabilisiert werden. Auch eine Betriebspunkt abhängige Zwischenkreisspannung ist denkbar. Bei kleineren Drehzahlen kann eine Absenkung der Zwischenkreisspannung zu geringeren Schaltverlusten im Inverter führen. Eine größere Spannung ermöglicht auch bei höheren Motordrehzahlen eine Abgabe des maximalen Drehmomentes (Abbildung 4) und führt zu kleineren Kupferverlusten. Über eine Gesamtsimulation des elektrischen Antriebsstranges soll hierfür eine wirkungsgradoptimale Betriebsstrategie ermittelt werden. Langfristig soll diese Betriebsstrategie in Echtzeit onboard im Fahrzeug optimiert werden.

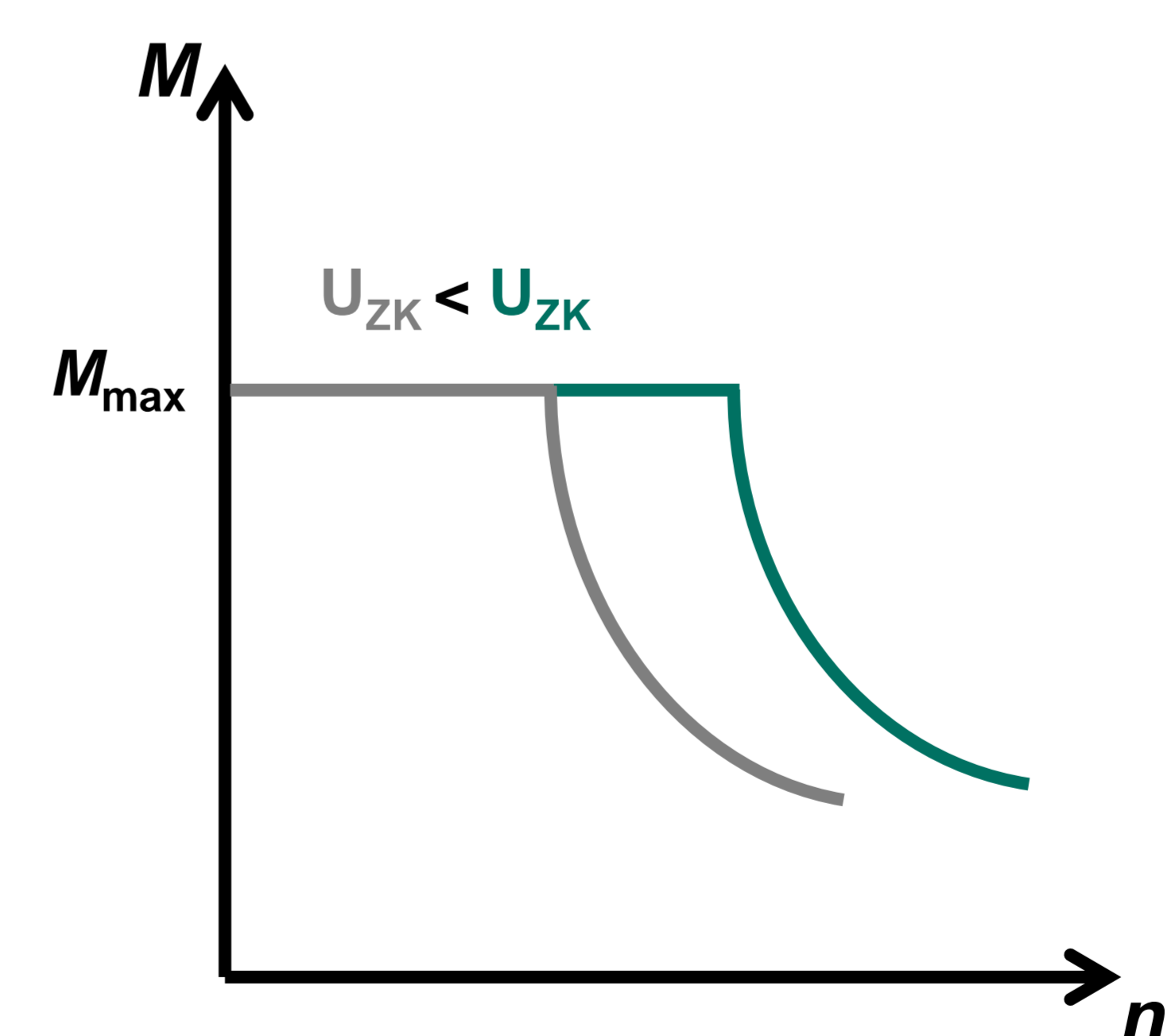


Abbildung 4: Verlauf des Motordrehmomentes

[1] Stehlik, Karin, *Zur Degradation oxidkeramischer Brennstoffzellen*. Dissertation, TU München, München, 2009.

[2] Heinemann, Detlef, *Strukturen von Batterie- und Energiemanagementsystemen mit Bleibatterien und Ultracaps*. Dissertation, TU Berlin, Berlin, 2007.