

Rekuperationsverhalten von Elektro-Fahrzeugen

Von Michael Salingré*

Im Rekuperationsbetrieb werden E-Fahrzeuge verzögert. Um zu prüfen, ob die auftretenden Verzögerungswerte eine Relevanz für die Unfallanalyse haben, wurde für einen gängigen Kleinwagentyp, der als Verbrenner- und als E-Version verbreitet ist, die Verzögerung im Rekuperationsbetrieb der E-Version mit der Verzögerung der Verbrenner-Version verglichen.

Ferner wurde die Verzögerung bei maximaler Rekuperation mit weiteren E-Fahrzeugen gemessen.

1 Rekuperation

Die Rekuperation (Bremsenergie-Rückgewinnung) eines E-Fahrzeugs geht mit einer mehr oder minder stark ausgeprägten Verzögerung einher. Die Höhe der Verzögerung ist grundsätzlich vom Ladezustand der Hochvoltbatterie abhängig. Ist die Hochvoltbatterie noch vollständig geladen, fand bei den untersuchten Fahrzeugen keine Rekuperation und somit auch keine Verzögerung statt.

Bei vielen (nicht allen) E-Fahrzeugen und auch Hybrid-Modellen (normale Hybrid-Modelle und Plug-in-Hybrid-Modelle), die heute am Markt vertreten sind, kann der Grad der Rekuperation und damit die Höhe der Verzögerung vom Fahrer durch Wahl einer Rekuperationsstufe beeinflusst werden. Allerdings ist das im Einzelfall vom Sachverständigen beziehungsweise Unfallanalytiker nachzuprüfen.

Um zu beurteilen, ob die durch eine Rekuperation erzielbaren Verzögerungen von unfallanalytischer Relevanz sind, wurde bei einigen gängigen E-Fahrzeugen die Verzögerung bei maximaler Rekuperation gemessen. Für die Untersuchungen standen mehrere Fahrzeuge zur Verfügung. Darunter ein Mini Cooper SE electric, Seat Mii electric, Škoda Enyaq 80, Tesla Model 3, Volkswagen ID3 und ein Volkswagen up mit Verbrennungsmotor.

2 Messanordnung

Die Verzögerungsmessungen wurden mit der Smartphone-App PHYPHOX der RWTH-Aachen durchgeführt, die die Raumkoordinaten dem verwendeten Smartphone (alle Messungen: SAMSUNG-A41) zuordnet, **BILD 1**.

Bei allen Messungen wurde das Smartphone waagrecht an der Scheibe der Beifahrertür montiert und so ausgerichtet, dass in y-Richtung gemessen wurde. Abweichungen von der waagerechten Ausrichtung wurden entsprechend korrigiert, **BILD 2** und **BILD 3**.

Vor der Versuchsreihe wurde die Messanordnung mit Hilfe eines VZW-300-Verzögerungsmessgeräts überprüft. Zudem fanden die Messungen ausnahmslos auf ebenen Asphaltfahrbahnen statt. Zur Messung wurden die Fahrzeuge, deren Hochvoltbatterie zu 70 bis 75 % geladen waren, mit einer voreingestellten Rekuperationsstufe auf 50 bis 60 km/h beschleunigt und sodann durch plötzliches Loslassen des Fahrpedals in den Rekuperationsmodus versetzt. Zum endgültigen Stillstand des Fahrzeugs wurde die Betriebsbremse betätigt. Anschließend wurden die Messungen mit MS Excel ausgewertet, **BILD 4**.

3 Verzögerung im Rekuperationsbetrieb

Die nachfolgend beschriebenen Messfahrten mit einem SEAT Mii electric

wurden aufeinanderfolgend auf derselben Fahrbahn durchgeführt. Die Versuchsdurchführung mit einem Seat Mii electric, bei der auch die Aktivierung des Bremslichts festgehalten wurde, lieferte nachfolgend dargestellte Verzögerungsergebnisse, **BILD 5** bis **BILD 8**.

Im Einzelnen ergaben die Messungen folgende Verzögerungswerte:

- Rekuperationsstufe 1: $\approx 0,5 \text{ m/s}^2$, Bremslicht nicht aktiviert
- Rekuperationsstufe 2: $\approx 0,75 \text{ m/s}^2$, Bremslicht nicht aktiviert
- Rekuperationsstufe 3: $\approx 1,0 \text{ m/s}^2$, Bremslicht aktiviert
- Rekuperationsstufe 4: $\approx 1,5 \text{ m/s}^2$, Bremslicht aktiviert

In Bezug auf das Bremslicht entspricht dies der Betriebsanleitung des Seat Mii electric, in der ab der Rekuperationsstufe 3 von einer „starken“ Rekuperationsstufe gesprochen wird und in der es weiter heißt: „Bei starker Rekuperation können zusätzlich die Bremsleuchten des Fahrzeugs leuchten“.

Neben dem Seat Mii electric konnten auch für weitere Elektrofahrzeuge Verzögerungswerte ermittelt werden,

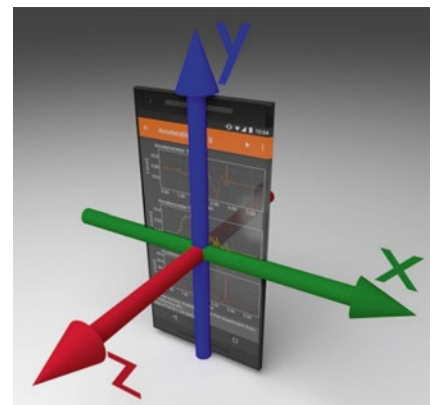


BILD 1: Verzögerungsmessungen wurden mit der Smartphone-App „Phypfox“ durchgeführt
FIGURE 1: Deceleration measurements were taken with the smartphone app “Phypfox”



BILD 2 UND BILD 3: Das Smartphone wurde waagrecht an der Beifahrerscheibe montiert und in y-Richtung gemessen
FIGURE 2 AND FIGURE 3: The smartphone was mounted horizontally on the passenger window and measured in the y-direction

Beschleunigen-Ausrollen-Bremsen (SEAT Mii electric)

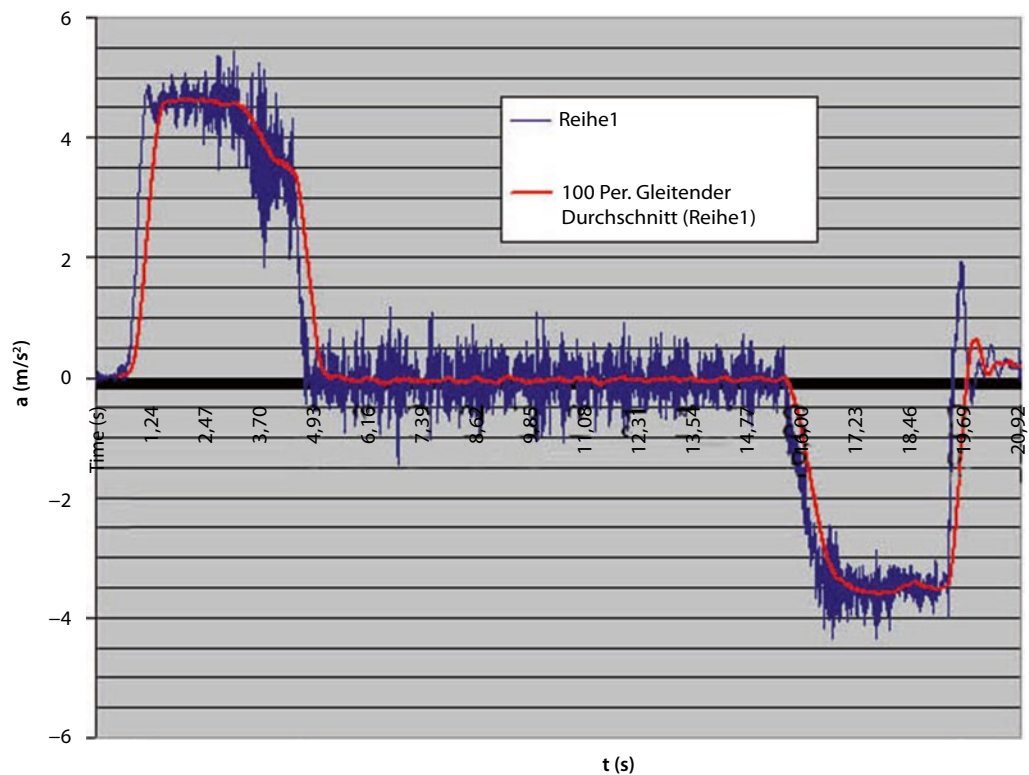


BILD 4: Die Auswertung der Versuche fand per MS Excel statt

FIGURE 4: The tests were analysed using MS Excel

wobei jeweils die maximal mögliche Rekuperationsstufe des Fahrzeugs eingestellt wurde, **BILD 9** bis **BILD 12**.

4 Verzögerung eines VW UP im Schubetrieb

Bei den Messungen mit einem VW UP (999 cm³, 44 kW) wurde das Fahrzeug im zweiten Gang bis auf 50 km/h be-

schleunigt und sodann durch plötzliches Loslassen des Gaspedals der Schubetrieb eingeleitet, **BILD 9**. Für die Schubphase des VW up wurden Verzögerungen von rund 0,5 m/s² gemessen.

5 Unfallanalytische Relevanz

Versteht man bei der Annäherung an eine Licht-Signal-Anlage das Umschal-

ten von Grünlicht auf Gelblicht nicht als Aufforderung zur Beschleunigung, sondern als Aufforderung zum Anhalten, so ist es nicht unüblich, das Fahrzeug ausrollen zu lassen. Bei einem E-Fahrzeug oder Hybrid-Modell bietet sich aus Gründen der Effektivität ein Ausrollen im Rekuperationsbetrieb an, um so Bremsenergie und damit Reichweite (zurück)zugewinnen.

Beschleunigen-Rekuperationsstufe 1 (Mii electric)

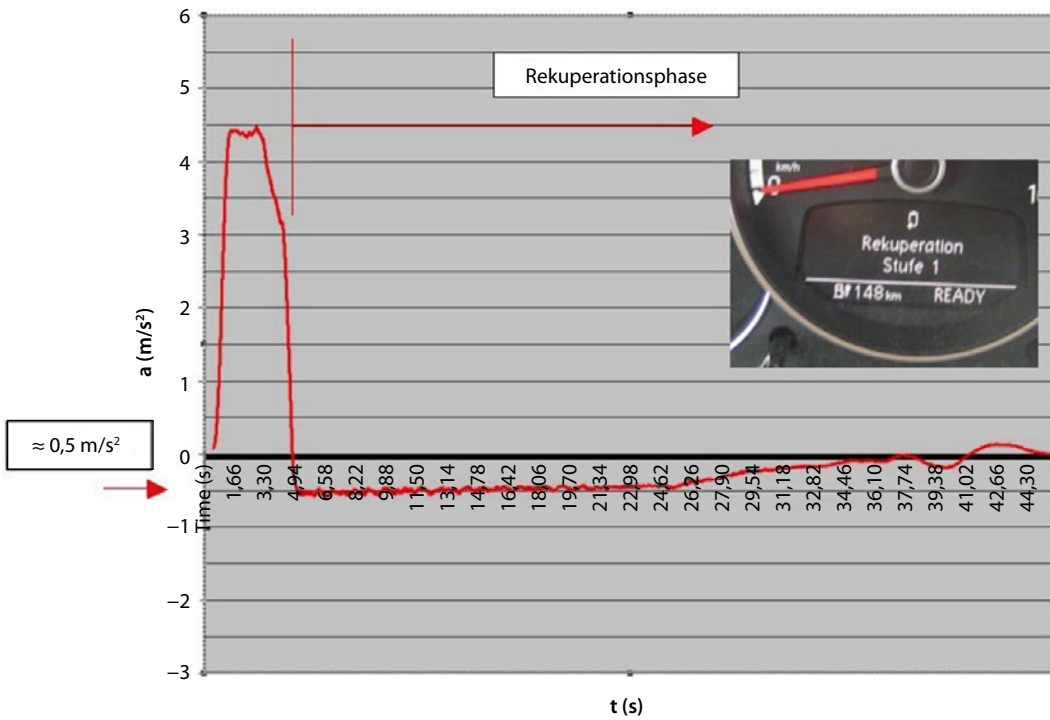


BILD 5:
Verzögerungsverlauf
Seat Mii electric,
Rekuperationsstufe 1
FIGURE 5: Deceleration
curve Seat Mii electric,
recuperation level 1

Beschleunigen-Rekuperationsstufe 2 (Mii electric)

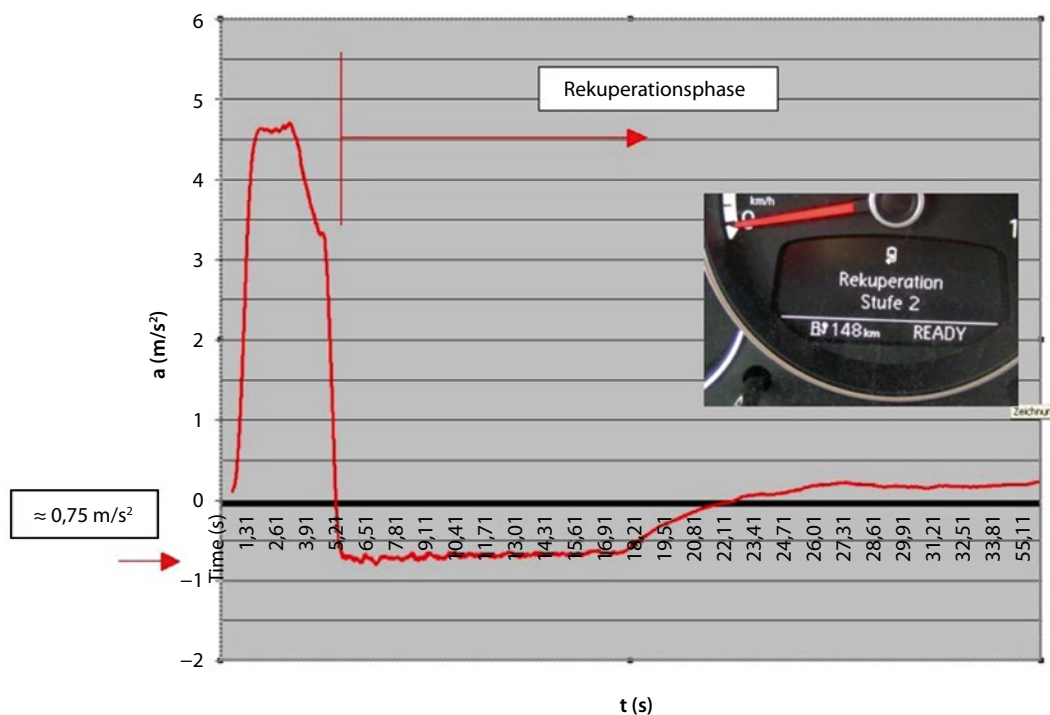


BILD 6:
Verzögerungsverlauf
Seat Mii electric,
Rekuperationsstufe 2
FIGURE 6: Deceleration
curve Seat Mii electric,
recuperation stage 2

Der Betriebsmodus Rekuperation ist mit dem Ausrollen eines Verbrenner-Fahrzeugs im Schubbetrieb vergleichbar. Die Motorbremswirkung eines

Verbrenner-Fahrzeugs entspricht dabei der Bremswirkung des in den Generatormodus geschalteten E-Motors des E-Fahrzeugs, wobei es auch auf den ein-

gelegten Gang des Verbrenner-Modells ankommt.

Bei den vorliegenden Fahrzeugen zeigt der Vergleich, dass die Motor-

Beschleunigen-Rekuperationsstufe 3 (Mii electric)

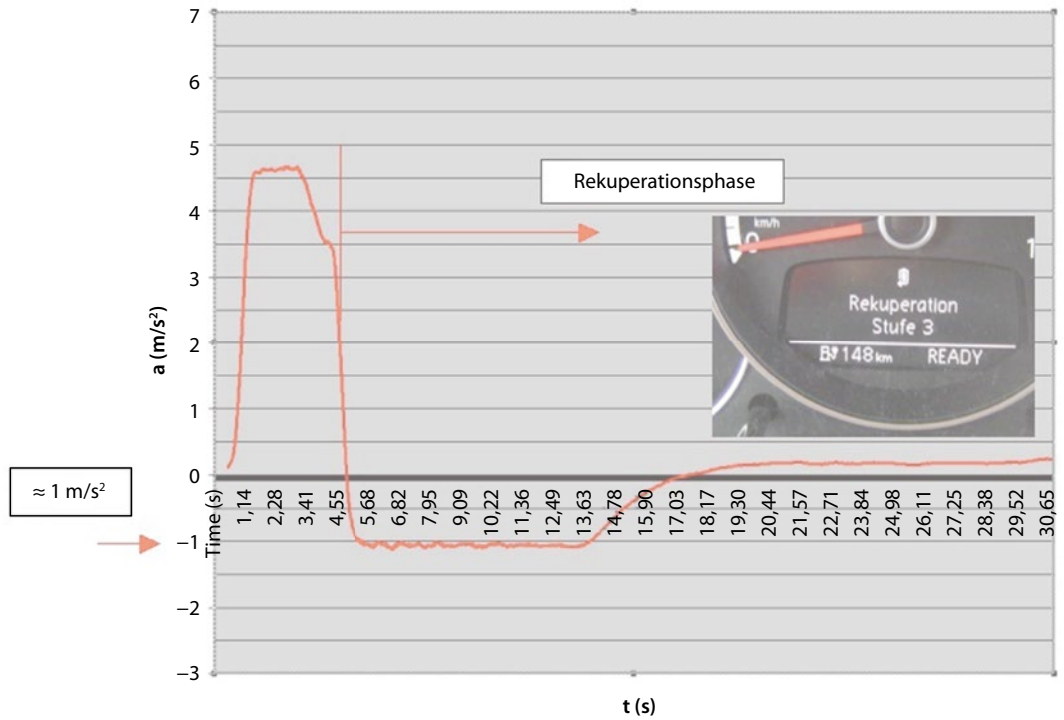


BILD 7:

Verzögerungsverlauf
Seat Mii electric,
Rekuperationsstufe 3

FIGURE 7: Seat Mii electric
deceleration curve,
recuperation stage 3

Beschleunigen-Rekuperationsstufe 4 (Mii electric)

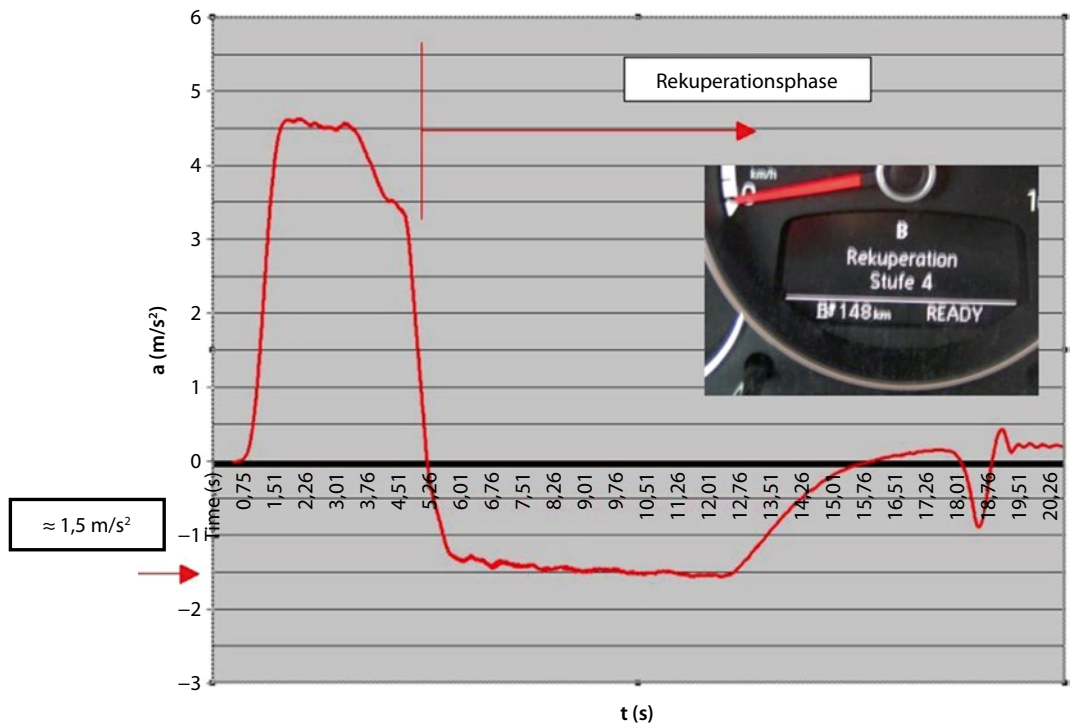


BILD 8:

Verzögerungsverlauf
Seat Mii electric,
Rekuperationsstufe 4

FIGURE 8: Deceleration
curve Seat Mii electric,
recuperation stage 4

bremswirkung des Verbrenner-Fahrzeugs gegenüber der Generatorbremswirkung des E-Fahrzeugs nahezu vernachlässigbar ist.

Für die Aktivierung des Bremslichts ergab sich bei den untersuchten Fahrzeugen, dass bei dem Verbrenner-Fahrzeug das Bremslicht schon

deutlich vor Erreichen einer Verzögerung von 1 m/s² aufleuchtet, weil der Fahrer hierzu die Betriebsbremse betätigen muss, während bei dem E-

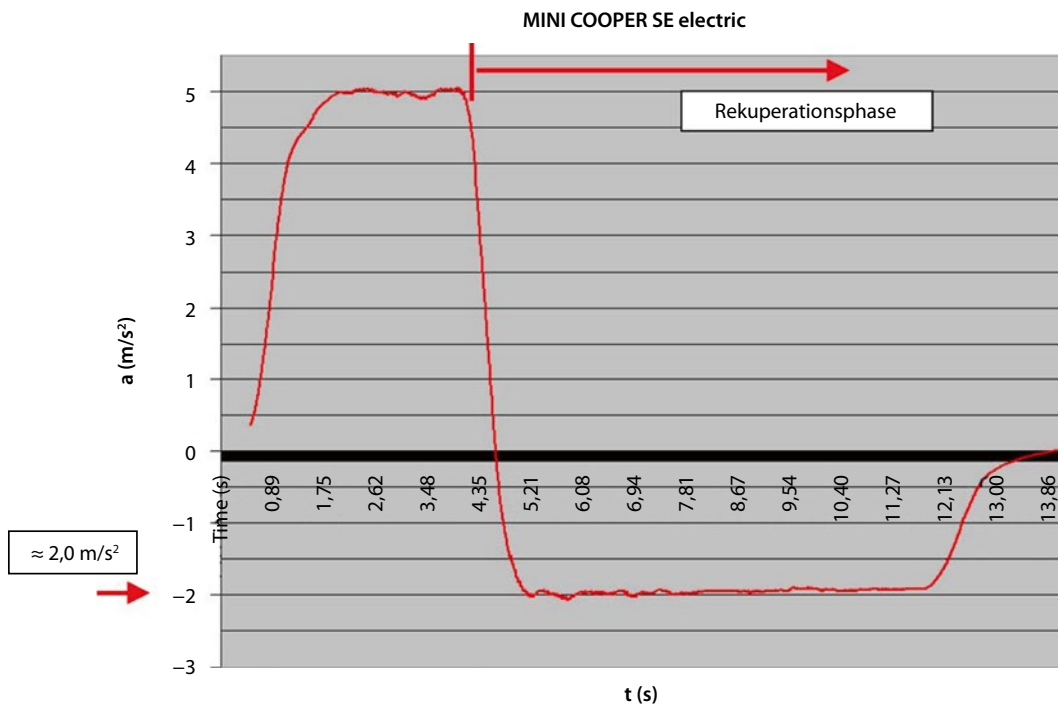


BILD 9: Verzögerungsverlauf eines Mini Cooper SE electric bei maximaler Rekuperationsstufe
FIGURE 9: Deceleration curve of a Mini Cooper SE electric at maximum recuperation level

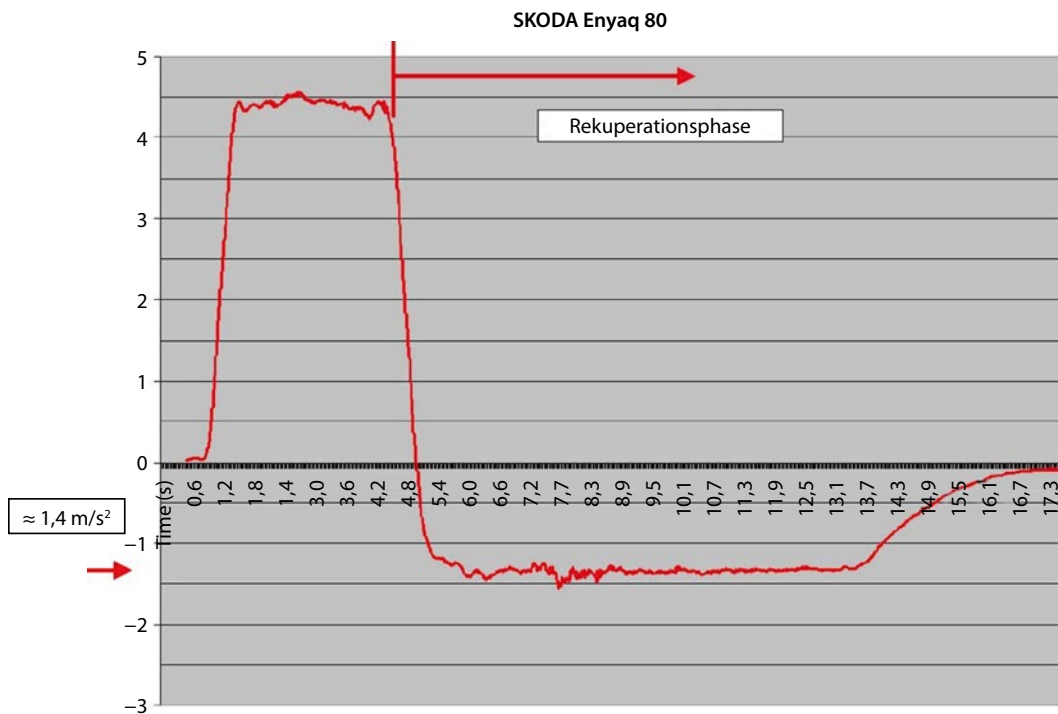


BILD 10: Verzögerungsverlauf eines Skoda Enyaq 80 bei maximaler Rekuperationsstufe
FIGURE 10: Deceleration curve of a Skoda Enyaq 80 at maximum recuperation level

Fahrzeug das Bremslicht erst ab Erreichen dieses Verzögerungswertes aufleuchtet.

Für die oben skizzierte Verkehrssituation würde dies bedeuten, dass der nachfolgende Verkehrsteilnehmer von dem vorausfahrenden Verbrenner-Fahrzeug eher gewarnt

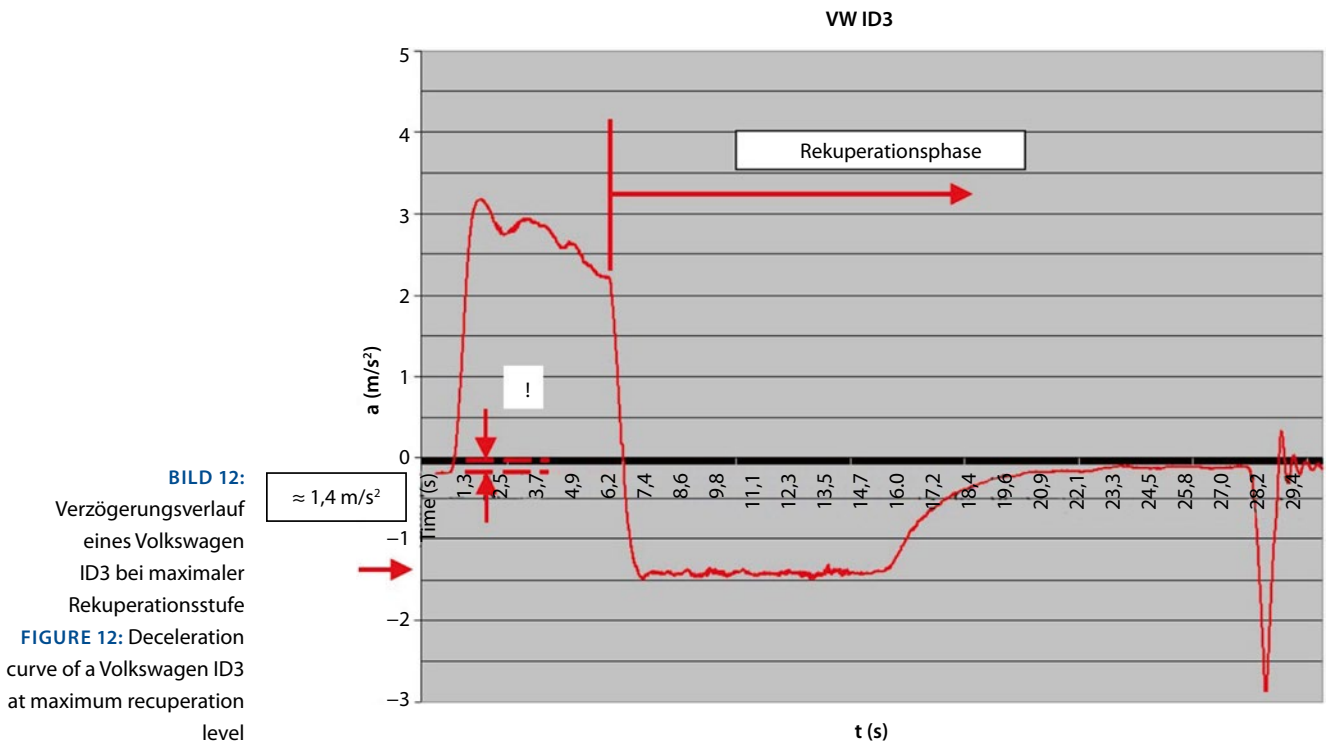
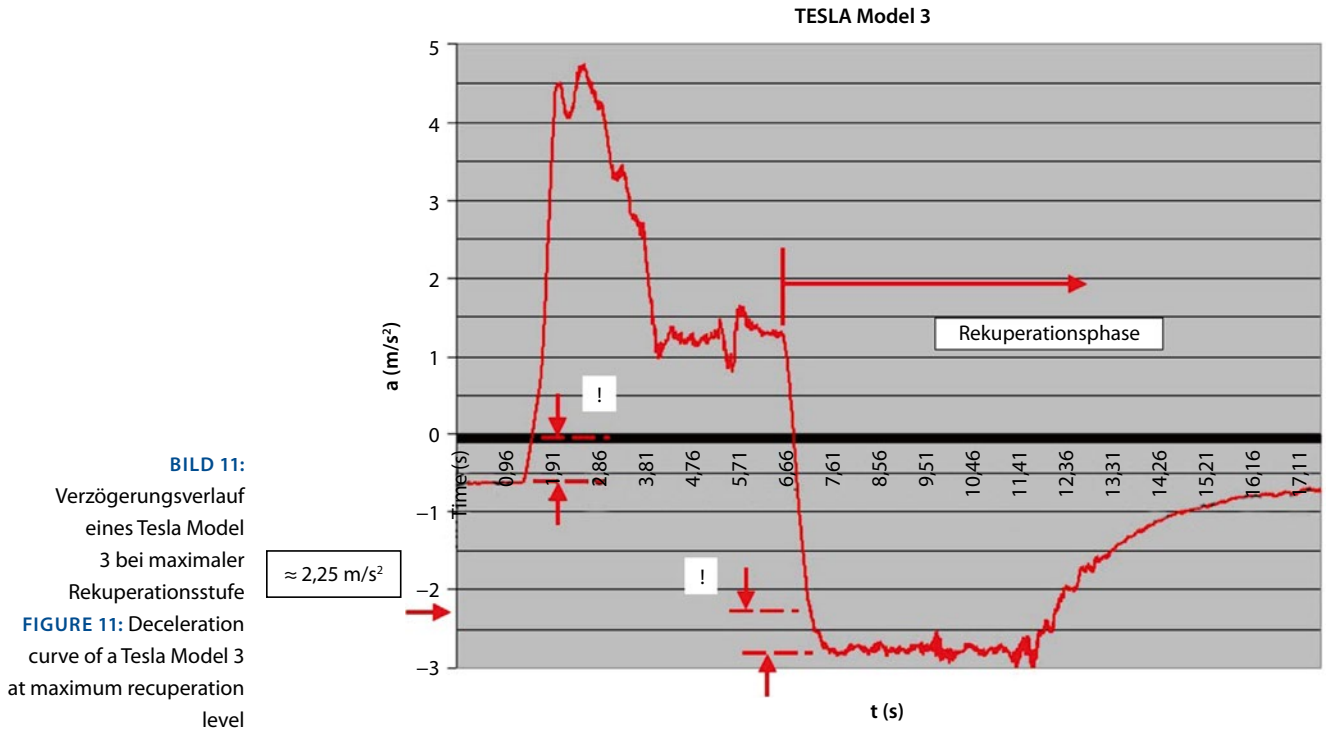
wird, als von dem vorausfahrenden E-Fahrzeug.

Bei den geringen Fahrzeugabständen, die im Stadtverkehr häufig vorkommen, kann daher eine Relevanz für die Unfallursächlichkeit nicht ausgeschlossen werden. Deshalb sollte dieser Gesichtspunkt bei entsprechenden

Fällen geprüft werden und nicht unberücksichtigt bleiben.

6 Zusammenfassung

Bei Auffahrunfällen, bei denen das vorausfahrende Fahrzeug ein E-Fahrzeug war, sollte hinsichtlich der Unfallur-



sache eine mögliche rekuperationsbedingte Verzögerung beachtet werden. Dabei sollte der Sachverständige beziehungsweise Unfallanalytiker auch der möglichen Aktivierung/oder nicht-Aktivierung der Bremslichter im Rekupe-

rationsbetrieb besondere Aufmerksamkeit schenken. In vielen Fällen können E-Fahrzeuge oder Hybrid-Modelle höhere Verzögerungswerte erreichen als vergleichbare Verbrenner-Autos, ohne dass dabei die Bremslichter aktiviert

werden. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass bei E-Fahrzeugen im Rekuperationsbetrieb (und gegebenenfalls ohne Betätigung des Bremspedals) Verzögerungswerte von bis zu 2,25m/s² möglich sind.

Beschleunigen - Schubbetrieb (VW UP)

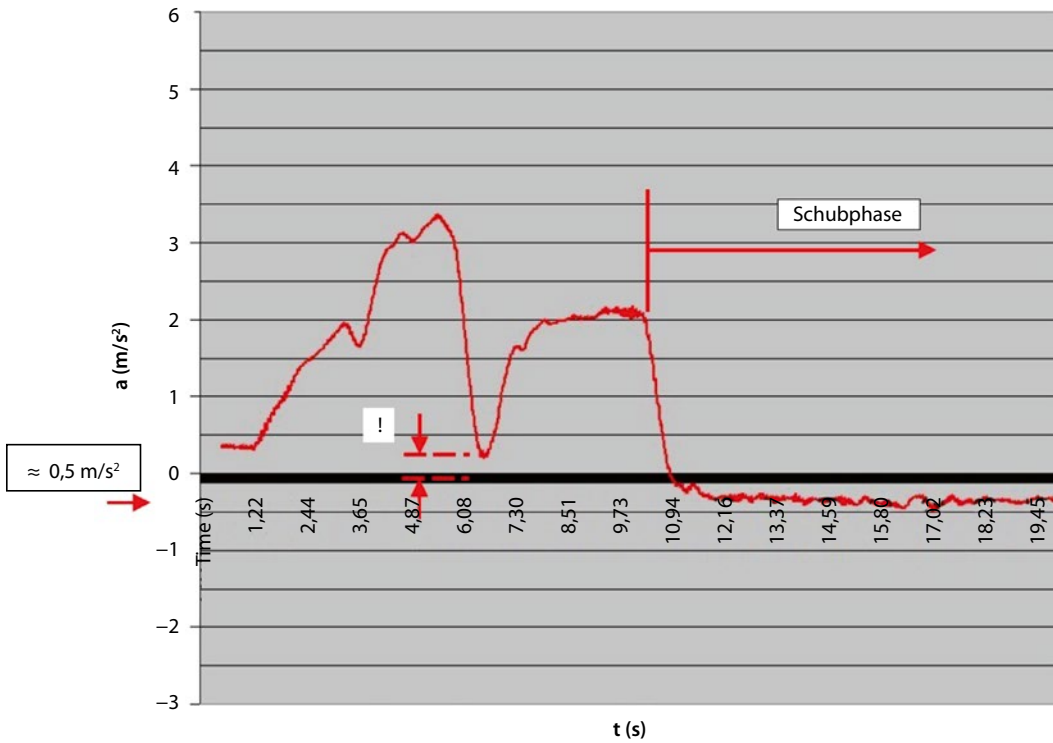


BILD 13:

Verzögerungsverlauf eines VW up im Schubbetrieb nach der Beschleunigungsphase
FIGURE 13: Deceleration curve of a VW up in overrun mode after the acceleration phase

Recuperation behaviour of electric vehicles

In recuperation mode, electric vehicles are decelerated. In order to test whether the deceleration values that occur are relevant for accident analysis, the deceleration in recuperation mode of the E-version was compared with the deceleration of the combustion version for a common small car type that is widely available as a combustion engine and as an E-version.

Furthermore, the deceleration at maximum recuperation was measured with other E-vehicles.

* Autor

Dipl.-Ing. Michael Salingré ist ö. b. u. v. Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle mit eigenem Büro in Bergisch-Gladbach.

Schuld und Sühne

Präzise Unfallanalysen von Experten für Experten

Für Abonnenten
kostenloser
Download von
2D DXF-Daten

VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik informiert Sie im Magazin und online über die neuesten Ergebnisse aus **Schadenspraxis, Unfallforschung** und **Kfz-Technik**.

Jetzt Jahres- oder Mini-Abo bestellen und Prämie sichern.
www.VKUonline.de/abo

VKU
ist eine Marke von:
Springer Automotive Media