

Zeitschrift: Schweizerische Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialgeschichte =
Société Suisse d'Histoire Economique et Sociale

Herausgeber: Schweizerische Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialgeschichte

Band: 25 (2010)

Artikel: Kapazitäten des Fuhrwerkverkehrs im 18. und 19. Jahrhundert :
Grundlagen der Schätzung von Transportkapazitäten des vormodernen
Landverkehrs

Autor: Schiedt, Hans-Ulrich

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-871752>

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: 16.01.2026

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

Hans-Ulrich Schiedt

Kapazitäten des Fuhrwerkverkehrs im 18. und 19. Jahrhundert

Grundlagen der Schätzung von Transportkapazitäten des vormodernen Landverkehrs

Häufig wird der Verkehr vor den Eisenbahnen als *vormodern* apostrophiert. Allerdings lässt sich hinsichtlich der Landtransporte schon früher eine Epochenschwelle feststellen, die eine Einteilung in vormodern und modern nahelegt, respektive die Entwicklung des Strassenverkehrs schon seit dem 18. Jahrhundert als Prozess der Modernisierung erscheinen lässt.¹ Diese Ambivalenz hinsichtlich des Moderniebegriffs bleibt im Folgenden bestehen. Sie gründet nicht zuletzt im vielfältigen Nebeneinander von Technikkonstanz und Technikinnovation in der Zeit selbst. Seit den 1970er-Jahren findet jener Wandel der Strassen- und Verkehrsverhältnisse in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts vermehrt Beachtung, der von einigen Autoren ebenfalls als eine eigentliche Verkehrsrevolution beschrieben wird.² Die Bedeutung dieser Entwicklung ist kaum mehr bestritten. Wichtige Details blieben jedoch ungeklärt oder ungenügend differenziert. Diese betreffen nicht zuletzt die Kapazitäten des Landtransports und deren Entwicklung selbst. Ziel der Studie ist es, die materiellen Bedingungen und die wichtigen Kapazitätseckwerte des Fuhrwerkverkehrs zu eruieren und damit eine Grundlage für weiterführende Schätzungen zu schaffen.³

«Theorie des Fuhrwerks»

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts erwachte das Interesse an der Ermittlung des Zugvermögens von Pferden, der Widerstandsbedingungen der Strassen und der Wagenkonstruktion, kurz an einer wissenschaftlichen Durchdringung der Strassentransporte.⁴ Solche Fragen wurden in verschiedenen Kreisen erörtert: beim Militär, bei den Strassenbauern, Staatsverwaltern, Wirtschaftspolitikern, Transportunternehmern, Fabrikanten, den Wissenschaftlern der polytechnischen Fachrichtungen etc.⁵ Die Motivation dazu ergab sich im Zusammenhang mit den tief greifenden Veränderungen der Zeit: zunächst im Rahmen der merkantilistisch-kameralistischen Reformen der Staaten des ausgehenden Ancien Régime, dann in der Industrialisierung, der

Technisierung der Produktionsabläufe, der (räumlichen) Ausdifferenzierung der gesellschaftlichen Produktion und schliesslich auch mit den Eisenbahnen.

Fachbücher des Strassenbaus, der Fuhrwerkstechnik und der Transportorganisation entstanden zunächst im Umkreis der 1747 in Paris gegründeten Ecole des Ponts et Chaussées, der 1794 gegründeten Ecole polytechnique und der folgenden zahlreichen Neugründungen von technischen Instituten. Sie entstanden im Zusammenhang mit den Erfolgen der experimentellen Physik und der technischen Mechanik. Die damalige Verständigung über die Voraussetzungen, die Formulierung der Umstände, die Diskussion des Erfahrungswissens, die Beschreibung der Beobachtungen und Experimente sowie die Resultate und Folgerungen geben wichtige Einblicke in die Kausalität, Logik und Systematik des vormodernen Landverkehrs, dessen Wandel damit so erfasst werden kann, dass auch quantitative Schätzungen möglich sind.

Die vorliegende Studie stützt sich auf diesen bisher vernachlässigten Fundus von Theorien, Berichten und Lehrbüchern.

Die Zugtiere

Die zeitgenössische Literatur befasste sich hauptsächlich mit Pferden. Neben Pferden wurden häufig auch Maultiere, Ochsen und Kühe vorgespannt oder sogar zum Säumen verwendet. Rinder waren wesentlich billiger als Pferde. Kühe galten als überaus trittsicher, Ochsen als genügsam, aber langsam. Ochsen und Kühe kamen vor allem für Transporte im landwirtschaftlichen Nebengewerbe zum Einsatz.

Für die ausdauernde Leistung der Zugtiere ist deren Gewicht die wichtigste Grösse: die Zugtiere ziehen hauptsächlich mit ihrem Gewicht.⁶ Eine ausserordentliche, höhere Zugleistung oder eine grössere Geschwindigkeit basieren auf zusätzlicher Muskelkraft und vermindern letztlich die Tagesleistung.

Die Pferde waren im 18. Jahrhundert 250–300 kg und zu Beginn des 19. Jahrhunderts durchschnittlich circa 300 kg schwer.⁷ Bemerkenswert ist, dass die Annahmen in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts auf nur unwesentlich schwereren Pferden beruhten, als Girault für das Mittelalter eruiert hat.⁸ Der böhmische Polytechniker Franz Johann Maschek, ein bekannter Fachmann für die menschliche und tierische Arbeitsleistung, ging 1842 immer noch von Pferdegewichten von 250–350 kg aus.⁹ Einige der Autoren nahmen für die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts durchschnittliche Pferdegrössen von 350 kg und für den Beginn des 20. Jahrhunderts von 375 kg an.¹⁰ Annahmen aufgrund von schwereren Pferden finden sich 1837 bei Youatt für England und 1872 bei Evrard für Nordfrankreich.¹¹ Solche Pferde (bis 600 kg und mehr, Widerristhöhe 160 cm und mehr) gelangten vereinzelt auch in die Schweiz. Allerdings waren sie bis 1910 nicht zahlreich genug, um deren Einbezug in quantitative Schätzungen zu rechtfertigen.¹² Im Lauf des 19. Jahrhunderts stiegen die in

der Literatur angegebenen Durchschnittsgewichte um circa ein Viertel an, und heute gelten 500 kg schwere Pferde als leicht. Maschek gab weitere Durchschnittsgewichte an: Für einen Menschen nahm er 62 kg an, für einen Ochsen 250–350 kg, für einen Esel 125–175 kg und für einen Maulesel 200–300 kg.¹³

Über die ausdauernde Zugkraft von Ochsen gehen die Angaben stärker auseinander als bei den Pferden. Nach Giraults Angaben für das Mittelalter waren die Ochsen stärker, aber langsamer als Pferde.¹⁴ Die Zugleistung der Ochsen war gemäss der Übersicht bei von Kaven im 19. Jahrhundert geringer als die von Pferden; zwei Pferde galten im Gespann als gleich stark wie drei oder vier Ochsen.¹⁵ Das mochte auch mit der Art des Geschirrs zusammenhängen, für Ochsen hauptsächlich noch das Joch, für Pferde aber das Kummet. Die Wiederkäuer benötigten während ihrer Tagwerke eine längere Rast, 1½ Stunden zum Fressen und 1½ Stunden zum Wiederkäuen.¹⁶ Verschiedene Autoren gingen darum für die Ochsen von einer um 1–2 Stunden kürzeren täglichen Arbeitsdauer aus.

Ein Vergleich der FAO ergibt eine für Pferde und Ochsen gleich ausdauernde Zugkraft, bei allerdings unterschiedlicher mittlerer Arbeitsgeschwindigkeit: 3,6 km/h beim Pferd, 2,2–3 km/h beim Ochsen und bezüglich der Arbeitsleistung ein Verhältnis zwischen Pferd und Ochse von circa 4 : 3.¹⁷ Eine fast gleiches Verhältnis stellte Maschek 1842 fest.¹⁸

In der Literatur sind vor allem die Zugtiere thematisiert. Mit der Säumerei befassen sich einige Militärschriften. Die folgenden wenigen Angaben sollen Anhaltspunkte geben, um Kapazitätsverhältnisse zwischen dem Karren- respektive dem Wagen- und den Saumtransporten zu schätzen.

Die Saumladung ist sehr abhängig vom Volumen der Last. Oft ist nicht das Gewicht, sondern die Form der Last entscheidend. Das Pferd trägt gemäss Angaben aus dem 19. Jahrhundert durchschnittlich ein Drittel seines Gewichts. Girault nimmt für das Mittelalter die Last eines Saumpferdes mit 75–100 kg an (bei einem Gewicht der Pferde von 250 kg).¹⁹ Evrard ging in den 1870er-Jahren von einer durchschnittlichen Taglast von circa einem Viertel des Körpergewichts aus.²⁰ Die gegenwärtig gültigen Regeln des Trains geben für Pferde und Maultiere eine durchschnittliche Last von 80–90 kg an, was einem Viertel bis einem Fünftel des Gewichts heutiger leichter Pferde entspricht.²¹

Die Zugleistung

Die Leistung der Zugtiere ist abhängig von der Zugkraft, der Geschwindigkeit und der Arbeitsdauer. In der Literatur des 19. Jahrhunderts war die Annahme unbestritten, dass die Zugtiere eine maximale Tagesleistung (L_{\max}) erbringen, wenn sie dies mit einer ausdauernden Kraft²² (z) von rund einem Fünftel des Körpergewichts

in einer angepassten Geschwindigkeit um 3,6 km/h (v) über circa 8 Stunden (t) tun. Die Angaben der mittleren Geschwindigkeit bewegen sich zwischen 3,0 und 4,3 km/h.²³ Die 3,6 km/h sind häufig genannt (1m/s).²⁴ Unter den verschiedenen Schrittartern der Pferde entspricht das dem kurzen Schritt unter der Bedingung einer mittleren Zugleistung.²⁵ Für die bei diesem Tempo mögliche Arbeitsdauer ging die zeitgenössische Literatur von 8–10 Stunden aus, wobei in der Regel jene Autoren die längere Arbeitszeit anführten, die eine langsamere optimale Geschwindigkeit voraussetzten.²⁶ Die Annahme einer bezüglich Zugkraft, Arbeitsdauer und Geschwindigkeit optimal erreichten Tagesdistanz von 32 km in ebenem Gelände wird vielfach bestätigt. Bei einem schneller gehenden oder stärker ziehenden Pferd nimmt die Zugleistung bezogen auf die Tagesleistung überproportional ab. Und bei einem langsamer gehenden Pferd nimmt sie nicht proportional zu.

Ein Vergleich der überlieferten Werte des 19. Jahrhunderts mit jenen des 20. Jahrhunderts ergibt für Pferde eine Übereinstimmung bezüglich der Tagesleistung von 32 km. Hinsichtlich der ausdauernden Zugkraft gehen einige der neueren Annahmen, die allerdings durchweg auf schwerere Pferde bezogen sind, nicht mehr von 20% des Körpergewichts, sondern von 12–15% aus.²⁷ Dieser Umstand gründet einerseits in der Zucht schwererer und schnellerer Pferde, die ein schlechteres Verhältnis zwischen Körpergewicht und Zugkraft aufwiesen.

Andererseits war das ungünstigere Verhältnis von Körpergewicht und Zugkraft wahrscheinlich auch eine Folge der steigenden Bedeutung des Tierschutzes. Für unseren Zweck gehen wir von der zeitgenössischen Annahme von 20% aus, die – das liest man oft zwischen den Zeilen – damals wohl eher über- als unterschritten wurde.²⁸

Unter den Berechnungen von Maschek finden sich nicht nur für Pferde identische Angaben, sondern auch für andere gebräuchliche Zugkräfte entsprechende Annahmen für die maximale Tagesleistung:

- *Mensch* (62 kg schwer): Zug- und Tragkraft 10–15 kg bei einer Geschwindigkeit von 2,2–3,3 km/h in einem Arbeitstag von 8 h.
- *Pferd* (250–350 kg schwer): Zugkraft 40–70 kg bei einer Geschwindigkeit von 3,2–4 km/h in einem Arbeitstag von 8 h.
- *Ochsen* (250–350 kg schwer): Zugkraft 45–60 kg bei einer Geschwindigkeit von 2,2–3,2 km/h in einem Arbeitstag von 8 h.
- *Esel* (125–175 kg schwer): Zugkraft 25–35 kg bei einer Geschwindigkeit von 3,2–4 km/h in einem Arbeitstag von 8 h.
- *Maulesel* (200–300 kg schwer): Zugkraft 40–60 kg bei einer Geschwindigkeit von 3,2–4 km/h in einem Arbeitstag von 8 h.²⁹

Das Modell von Maschek

Seit der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts gab es Bestrebungen, die mechanische Arbeitsleistung in einer mathematischen Formel auszudrücken. James Watt (1736–1819) war einer von vielen. Er definierte 1782 die Pferdestärke (PS) als Mass der Dampfmaschinenleistung: $1 \text{ PS} = 75 \text{ mkp/s} = 0,74 \text{ kW}$. Diesen Wert eruierte er aufgrund von Beobachtungen und in praktischen Versuchen. Auch Watt ging dafür von einer durchschnittlichen Tagesleistung aus, was Watt posthum dem Verdacht aussetzte, nicht genau beobachtet respektive gemessen zu haben, da Pferde über eine kürzere Zeitdauer offensichtlich bedeutend mehr als 1 PS entwickeln konnten. Diese Grösse sollte sich wohl für die Leistung der Dampfmaschinen und später der Automobile durchsetzen, nicht aber für die Leistung der Pferde und anderer Zugtiere.

Am häufigsten erscheint in der Fuhrwerkliteratur des 19. Jahrhunderts der einfache Ausdruck Kilogrammmeter (kgm) pro Zeiteinheit des an der Ecole des ponts et chaussées in Paris lehrenden, bekannten französischen Ingenieurs und Physikers Claude Navier, von dem wichtige Impulse auf die Maschinenmechanik ausgingen und der auch mehrere Werke über den Strassenverkehr schrieb.³⁰

Maschek entwickelte jene in der Folge allgemein anerkannte Formel, mit der sich die Veränderung der verschiedenen Grössen in ihrer Abhängigkeit voneinander berechnen liess.³¹ Auch er ging zunächst vom Erfahrungssatz aus, dass sich für Menschen und Tiere eine maximale Tagesleistung ergibt, wenn diese mit einer mittleren Kraft und einer mittleren Geschwindigkeit einen mittleren Arbeitstag lang arbeiten, und dass aus einer Abweichung eines dieser drei Werte eine Verminderung der Tagesleistung resultiert,³² in Worten von August von Kaven, «dass die Vermehrung der Geschwindigkeit, eine Verminderung entweder der Kraft, oder der Arbeitszeit, oder beider; die Vermehrung der Zugkraft eine Verminderung der Geschwindigkeit oder Arbeitszeit, oder beider u. s. w. im Gefolge haben muss, falls nicht auf die Dauer die normale Leistungsfähigkeit durch Überarbeitung gefährdet sein soll; immer aber wird durch eine Abweichung von den mittleren oder Normal-Verthen, die Maximalleistung überhaupt herabgezogen, wie sich auch theoretisch zeigen lässt».³³

Die sogenannte mascheksche Kraftformel

In Bezug auf die vom Durchschnitt abweichenden Grössen beträgt nach Maschek:

- die Zugkraft $Z = z \left(3 - \frac{V}{v} - \frac{T}{t} \right)$
- die Arbeitszeit $T = t \left(3 - \frac{Z}{z} - \frac{V}{v} \right)$
- die Geschwindigkeit $V = \frac{1}{2} \left(3 - \frac{Z}{z} \right) v$
- die Arbeitsleistung $L = Z \cdot V \left(3 - \frac{Z}{z} - \frac{V}{v} \right) v$

z	mittlere Zugkraft
v	mittlere Geschwindigkeit
t	mittlere Arbeitszeit
Z	wirkliche Zugkraft
V	wirkliche Geschwindigkeit
T	wirkliche Arbeitszeit
L	$Z \times V \times T$
L_{\max}	$z \times v \times t$

Auf das Beispiel eines 375 kg schweren Pferdes bezogen, das bei einer ausdauernden Zugkraft von 75 kg, einer Geschwindigkeit von 4 km/h und einem Arbeitstag von 8 Stunden seine maximale Leistung erbringt, ergibt die Annahme unterschiedlicher Geschwindigkeiten die folgenden Veränderungen bezüglich der Zugkraft und der Tagesleistung.

$V = 2,2 \text{ km/h}$	\boxtimes	$Z = 109 \text{ kg}$	\boxtimes	$L = 1'918'400 \text{ kgm pro Arbeitstag}^{34}$
$V = 3,0 \text{ km/h}$	\boxtimes	$Z = 94 \text{ kg}$	\boxtimes	$L = 2'232'000 \text{ kgm pro Arbeitstag}$
$V = 3,6 \text{ km/h}$	\boxtimes	$Z = 83 \text{ kg}$	\boxtimes	$L = 2'390'400 \text{ kgm pro Arbeitstag}$
$V = 4,0 \text{ km/h}$	\boxtimes	$Z = 75 \text{ kg}$	\boxtimes	$L = 2'400'000 \text{ kgm pro Arbeitstag [Maximum]}$
$V = 5,4 \text{ km/h}$	\boxtimes	$Z = 49 \text{ kg}$	\boxtimes	$L = 2'116'800 \text{ kgm pro Arbeitstag}$
$V = 8,0 \text{ km/h}$	\boxtimes	$Z = 0$	\boxtimes	$L = 0$

8 km/h wäre demnach jene Durchschnittsgeschwindigkeit, die für das Pferd selbst während 8 Stunden am Tag möglich ist, bei der es jedoch keine weiteren Zugkräfte mehr entwickeln kann. Wenn es bei dieser oder höherer Geschwindigkeit noch eine Zugleistung erbringen muss, dann ist dies nur um eine überproportionale Verringerung der täglichen Arbeitszeit möglich, die nun analog zu berechnen wäre.

«Ecrits par les chevaux sur le papier»³⁵

Im Zentrum der experimentellen Physik, soweit sie den Fuhrwerkverkehr betraf, standen die Mechanik und hier vor allem die Widerstandsberechnungen. Die gründlichsten Experimente führte Arthur Morin mit über 1000 Versuchen in 179 Versuchsreihen durch.³⁶ Seine an der Ecole d'Application de l'Artillerie et du Génie durchgeführten Versuche wurden vom französischen Kriegsministerium finanziert. Mit seinen Resultaten erweiterte er die Reibungstheorie von Charles Augustin de Coulomb (1736–1806) hinsichtlich der verschiedenen Widerstände der Radfahrzeuge. Die Experimente, die erst über die Entwicklung eines speziellen Messinstruments, des sogenannten Dynamometers, möglich wurden, waren so aufwendig und ausführlich, dass sich in der Folge sogar seine Kritiker auf diese beriefen, um ihn in Details zu widerlegen.³⁷ Morins Befunde blieben aber im Wesentlichen grundlegend, solange überhaupt der Fuhrwerkverkehr Gegenstand von Untersuchungen war.

Die wichtigsten Resultate der Experimente Arthur Morins waren:

1. Die Reibung ist proportional zur Last des Fuhrwerks und umgekehrt proportional zum Radius der Räder.³⁸
2. Je kleiner die Räder sind, desto grössere Schäden verursachen sie an den Strassen.
3. Auf den harten Oberflächen der gepflasterten oder chaussierten Strassen ist der Widerstand fast unabhängig von der Breite der Felgen.
4. Auf weichen Oberflächen («terrains compressibles») nimmt der Widerstand in terrainspezifischer Masse proportional zur Breite der Felgen ab.
5. Auf weichen Oberflächen ist der Widerstand unabhängig von der Geschwindigkeit und unabhängig davon, ob der Wagen gefedert ist oder nicht.
6. Im Schritt ist der Widerstand auf gepflasterten oder chaussierten Strassen unabhängig von der Geschwindigkeit und unabhängig davon, ob der Wagen gefedert ist oder nicht.
7. Auf gepflasterten oder chaussierten Strassen wächst der Widerstand mit der Geschwindigkeit der Pferde. Die Erhöhung des Widerstands fällt geringer aus, wenn der Wagen gefedert ist.
8. Die günstigsten Bedingungen bietet eine Pflasterung, die keine Unebenheiten aufweist, während eine gut unterhaltene Chaussierung bessere Bedingungen bietet als ein unebenes Pflaster.
9. Die nicht gefederten Wagen sind im Trab gefahren für die Strassen schädlicher als die gefederten Wagen.
10. Die optimale Steigung der Zugrichtung im Fuhrwerk ist abhängig vom Widerstand der Wegoberflächen; je grösser der Widerstand, desto steiler ist der optimale Zug.³⁹

Die Verbesserung der Strassen als zentraler Punkt

Franz Joseph Ritter von Gerstner führte in seinem damals viel beachteten *Handbuch der Mechanik* die Tatsache aus, dass neben den Steigungen der Strassen die zwischen Rad und Strasse entstehende, sogenannte wälzende Reibung der weitaus grösste auf das Fuhrwerk wirkende Widerstand ist. In seinem Beispiel ist die Achsreibung auf schlechten Strassen nur $\frac{1}{24}$ der Gesamtreibung, während sie auf einer gut unterhaltenen Chaussee immerhin $\frac{1}{4}$ der Gesamtreibung beträgt.⁴⁰

Damit wird ein Punkt deutlich: der Chaussee- oder Kunststrassenbau war eine grundlegende Bedingung nicht nur der Verminderung der entsprechenden auf die Fuhrwerke wirkenden Widerstände zwischen Rad und Wagen und in Steigungen, sondern auch eine Vorbedingung weiterer technischer Verbesserungen der Wagenkonstruktionen. Erst auf den besseren Strassen wurde der Achswiderstand zur derart bedeutenden Grösse, dass sich entsprechende Innovationen wie beispielsweise Patentachsen mit geschlossenen Gusseisennaben lohnend zu Buche schlugen.

Die Qualität der Strasse ist für Wagentransporte wesentlich von zwei Faktoren abhängig: von der Härte und Ebenheit der Oberfläche und von den vorhandenen Steigungen.

Die verschiedenen Strassenoberflächen weisen unterschiedliche Widerstandsbedingungen für den Wagenverkehr auf. Sie wurden in der Fachliteratur des 19. Jahrhunderts in der Regel als Bruchteil des Gewichts des Fuhrwerks (Wagen und Last) oder als Koeffizient ausgedrückt. Der preussische Statistiker mit besonderem Auge für den Transport, August Meitzen, brachte dies auf den Punkt, wenn er betonte, dass das «Verhältnis der Zugkraft zur Last» das «Mass der Güte des Weges» sei.⁴¹

Zeitgenössische Experimente und Schätzungen zeigten, dass es auf einem nicht unterhaltenen Fahrweg ohne befestigte Oberfläche einer bis sechs Mal höheren Zugkraft als auf einer gut unterhaltenen Chaussee bedurfte, um ein Fuhrwerk in Bewegung zu halten.

Die Widerstände der Fuhrwerke auf verschiedenen Strassenoberflächen sind keine absoluten Grössen. Sie variieren – wie von Morin nachgewiesen – je nach der Grösse der Räder und der Breite der Felgen und der Grösse des Achswiderstands. Allerdings beziehen sich die Angaben auf die jeweils gebräuchlichen Frachtfuhrwerke.

Die folgenden Widerstandskoeffizienten basieren auf den Angaben verschiedener Autoren des 19. Jahrhunderts:⁴²

- gut unterhaltene Chaussee/Kunststrasse: $\frac{1}{30}$
- gewöhnlich unterhaltene Chaussee: $\frac{1}{15}$ – $\frac{1}{30}$ \boxtimes $\frac{1}{20}$
- Fahrweg ohne Kunstanlage: $\frac{1}{8}$ – $\frac{1}{10}$ \boxtimes $\frac{1}{10}$
- nicht für Wagenverkehr hergerichtete Oberflächen: $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{6}$ \boxtimes $\frac{1}{5}$

Als Beispiel: Mit einer ausdauernden Zugkraft von 60 kg konnte ein Pferd auf einer immer horizontalen, gut unterhaltenen Chaussee ($f = 1/30$) ein Fuhrwerk von 1800 kg, auf einer gewöhnlich unterhaltenen Chaussee von 1200 kg und auf einem Fahrweg von 600 kg ziehen ($30 \times 60 = 1800$ kg; $20 \times 60 = 1200$ kg).⁴³ Dabei betrug das Gewicht der Wagen zwischen einem Viertel und einem Drittel des Gesamtgewichts der Frachtfuhrwerke.⁴⁴

Saisonale Unterschiede

Vor dem Chaussee- und Kunststrassenbau stand der überregionale Wagenverkehr während der Wintermonate praktisch still. Das gründete nicht in erster Linie in einer absoluten Unbefahrbarkeit der Strassen – diese mochten in lokalen Bezügen durchaus befahrbar sein – sondern in der Unvorhersehbarkeit der Bedingungen, in der Unpassierbarkeit einzelner Wegstücke.

Die Chaussee bot seit der Mitte des 18. Jahrhunderts die beste Oberfläche für die Fuhrwerke. Jedoch war auch diese Oberfläche nicht immer gleich. Eine frisch geschotterte Oberfläche, die bis zum Aufkommen der Dampfwalzen nur durch den Verkehr selbst eingefahren wurde, wies einen grösseren Widerstandskoeffizienten als der Fahrweg ohne Kunstanlage auf. Die jährlich ein- oder zweimal notwendige Beschotterung führte ebenfalls zu einem zeitweise empfindlich höheren Widerstandskoeffizienten.

Schliesslich ergaben Beobachtungen von Schwilgué und Navier saisonale Unterschiede der Kapazitäten. Im Winter war der zu überwindende Widerstand der Fuhrwerke auf den Chausseen um 10–20% grösser als im Sommer. Der Grund dafür lag im tieferen Einsinken in der durchnässten Strasse und im aufgequollenen Holz der Wagen. Das Maximum der Lasten wurde im September erreicht, das Minimum im März.⁴⁵

Steigung und Gefälle

Die auf den Strassen möglichen Transportkapazitäten waren neben der Qualität der Oberflächen in grossem Mass von den Steigungsverhältnissen abhängig.⁴⁶ Dafür wurden in der zeitgenössischen Literatur komplexe mathematische Formeln hergeleitet. In der Folge sind die sich nur geringfügig auswirkenden Umstände dort weggelassen, wo die Grundannahmen selbst eine grössere Unsicherheit bergen. Am zweckdienlichsten sind die von Bokelberg angestellten Berechnungen.⁴⁷

Trigonometrie für VerkehrshistorikerInnen

In Steigungen müssen die Zugtiere mit jener zusätzlichen Kraft Z ziehen, mit der das Gewicht talwärts wirkt (M). Wie diese Kraft sich berechnen lässt, zeigt Abb. 1.

Mit den Worten von Bokelberg: «Die rückwärts ziehende Schwerkraft = $Q \times \sin \alpha$ fällt, als Gegengewicht, der vorwärts wirkenden Zugkraft ungetheilt zur Last, während die Bespannung von dem normal auf die schiefe Ebene drückenden Antheile des Wagengewichts = $Q \times \cos \alpha$ nur die Reibung an den Achsenschenkeln und am Umfange der Räder zu überwinden hat.»⁴⁸

Beispiele: Ein Pferd (300 kg schwer, ausdauernde Zugkraft $\frac{1}{5} = 60$ kg) zieht auf einer gewöhnlich unterhaltenen Chaussee ($f = \frac{1}{20}$ oder 0,05) ein 800 kg schweres Fuhrwerk. Auf der Ebene hat das Pferd das Fuhrwerk mit einer Kraft von 40 kg, das heisst mit $\frac{2}{3}$ seiner ausdauernden Kraft, zu ziehen. Wenn nun die Strasse mit einem Steigungswinkel von 3° ansteigt (Steigung von 5,2%) dann ist dafür die folgende Kraft notwendig:

- bei einer Steigung von 3° (5,2%):
 $800 \times 0,05 \times 0,999 + 800 \times 0,052 = 39,96 + 41,60 = 81,56$ ☒ 82 kg
- bei einer Steigung von 5° (8,7%):
 $800 \times 0,05 \times 0,996 + 800 \times 0,087 = 39,84 + 69,60 = 109,44$ ☒ 109 kg
- bei einer Steigung 3° (5,2%) und einem Fuhrwerkgewicht von 1600:
 $1600 \times 0,05 \times 0,999 + 1600 \times 0,052 = 79,92 + 83,20 = 163,12$ ☒ 163 kg

Die zusätzlich notwendige Kraft ist bei einer moderaten Steigung von 5,2% also schon grösser als die Kraft, die notwendig ist, um das Fuhrwerk in der Ebene in Bewegung zu halten. Das Pferd von 300 kg Gewicht ist zwar in der Lage, die Last mit einer Kraft von 80 kg zu ziehen, allerdings nur zulasten einer schnelleren Ermüdung und einer mehr als umgekehrt proportionalen Verminderung seiner Tagesleistung. Ist die Steigung länger oder noch grösser, dann benötigt dieses Fuhrwerk schon einen sogenannten Vorspann.

Bei einer Steigung von 5° oder 8,7% hätte schon ein zusätzliches Pferd mit fast seiner ganzen ausdauernden Kraft mitziehen müssen.

Die Bedingungen des Wagenverkehrs in Passagen mit Gefälle lassen sich analog der Steigungsformel oben berechnen:

Notwendige Rückhaltekraft: $Z_1 = Q \times f \times \cos \alpha - Q \times \sin \alpha$

- Auf das Beispiel oben bezogen (Gefälle von 3° oder 5,2%):
 $800 \times 0,05 \times 0,999 - 800 \times 0,052 = 39,96 - 41,60 = -1,64$ ☒ -2 kg

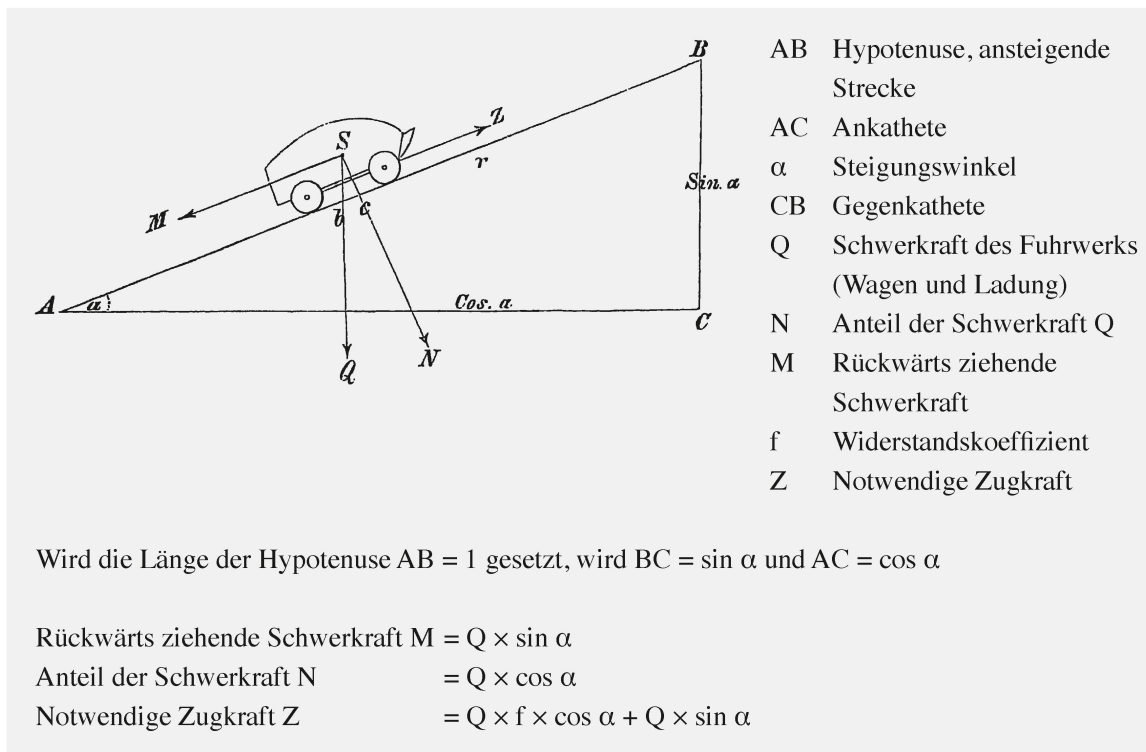


Abb. 1: Die im Fuhrwerk wirkenden Kräfte. Quelle: Bokelberg 1855, S. 8.

Die talwärts wirkende Kraft wird im Beispiel ungefähr vom Widerstand des Fuhrwerks aufgehoben. Hätte die Strasse eine Neigung von $5,5^\circ$ oder $9,6\%$, dann würde die talwärts wirkende Kraft ($Q \times \sin \alpha$) schon 76 kg betragen. Das Fuhrwerk müsste dann schon mit einer Kraft von 37 kg zurückgehalten werden. Da das Pferd aber beim Rückhalten nicht die gleiche Kraft entwickelt wie beim Ziehen, sondern nur eine Kraft, die ungefähr einem Zehntel seines Gewichts entspricht, das heisst in diesem Fall circa 30 kg, sind auch hier die ausdauernden Kräfte des Pferdes überschritten. Der Wagen muss zusätzlich mechanisch gebremst werden. Dies war von dem Moment an kein Problem, als die Wagen mit mechanischen Radbremsten versehen wurden. Solche kamen erst Mitte des 19. Jahrhunderts auf. Vorher und bei allen Wagen, die auch weiterhin über keine solchen Bremsen verfügten, wurden sogenannte Radschuhe eingesetzt. Mit diesen wurde die Reibung dadurch erhöht, dass man die Hinterräder in eigentliche Kufen verwandelte, mit entsprechend ruinösen Folgen für die Strassen.

Verminderte Zugleistung in Steigungen und im mehrspännigen Zug

Zwei weitere Umstände sind ebenfalls zu berücksichtigen. Die Zugkräfte der Zugtiere lassen sich für die mehrspännigen Fuhrwerke und bei den Tieren des Vorspanns nicht einfach addieren. Zudem erbringen die Pferde in den Steigungen nicht die gleiche Zugleistung wie in der Ebene. Das Pferd hat in Steigungen sich selbst mit einer grösseren Kraft bergwärts zu bewegen, eine Kraft, die dann für die Zugleistung fehlt. Hinzu kommt, dass der Zug bergwärts vom Körperbau her weniger günstig ist.

Diese beiden Umstände wurden von den Zeitgenossen ebenfalls in ihre Berechnungen einbezogen.⁴⁹ Bokelberg entwickelte für diese Fälle die folgenden Formeln:

$$Z_1 = Z - 2 \times Z \times \sin \alpha^{50}$$

Z Pferdekraft in der horizontalen Bewegung

Z₁ Pferdekraft in der Steigung

Als Beispiel: Ein Pferd mit einer durchschnittlichen ausdauernden Zugleistung von 60 kg entwickelt aufgrund der oben beschriebenen Annahme in einer Steigung von 3° oder 5,2% nur noch eine Zugleistung von circa 54 kg:

$$60 - 120 \times 0,052 = 60 - 6,24 = 53,76 \quad \approx 54 \text{ kg}$$

Schwieriger ist es, die Abnahme der Zugleistung im mehrere Tiere umfassenden Gespann zu beziffern. Nach Bokelberg ist der Zusammenhang zwischen der Zugkraft und der Zahl der Zugtiere (a) durch die folgende, auf Erfahrungswerten basierende Gleichung ausgedrückt, wobei N das Vielfache der Zugkraft eines Pferdes bezeichnet:

$$N = a [1 - 0,07 \times (a - 1)]$$

Wenn ein Pferd mit einer Kraft von 1 zieht, dann ziehen 2 Pferde mit 1,86, 3 Pferde mit 2,58, 4 Pferde mit 3,16, 5 Pferde mit 3,60, 6 Pferde mit 3,90, 7 Pferde mit 4,06 und 8 Pferde mit 4,08.

Gemäss der obigen Formel ist der Höchstwert für die ausdauernde Arbeit im Gespann bei 8 Zugtieren erreicht, wobei die Erhöhung von 5 Zugtieren auf deren 8 nur noch knapp der Hälfte der Zugkraft eines einzelnen Zugtieres entspricht.⁵¹

In diesem Umstand liegt denn auch einer der wichtigen Gründe, dass es sich bei der überwiegenden Mehrzahl der Fuhrwerke um Ein- oder Zweispänner handelte.⁵²

Die Reichweite der «Theorie des Fuhrwerks»

Seine Schlussfolgerungen seien – so Morin – buchstäblich von den Pferden selbst geschrieben, «écrits par les chevaux sur le papier».⁵³ Weniger als 20 Jahre später wies der Hannoveraner Landesbauinspektor Bokelberg in seiner Schrift über die Zugleistungen in Steigungen allerdings auf die Grenzen solcher Theorien hin, indem er auf die «geschwungene Peitsche des Fuhrmanns» verwies, «welcher mit einem Schlage die künstlichste Rechnung gewaltsam zu vernichten im Stande ist».⁵⁴

Zugtiere sind verschieden, je nach Rasse, je nach Alter, Gesundheit, Fütterung, je nach Arbeit und vor allem in Bezug auf die Frage, ob sie diese auszuführen gelernt haben. Deshalb sind in den präsentierten Werten und Verhältnissen keine gesicherten Angaben für den einzelnen Fall, sondern bestenfalls Durchschnittswerte und Grössenordnungen zu sehen.

Die neuen Chausseen oder Kunststrassen, saisonunabhängige Transporte, grössere Geschwindigkeiten und nicht zuletzt das Fahren auch während der Nacht, die Ablösung der Saumtiere durch Fuhrwerke, höhere Frachtgewichte pro Wagen, Zugpferd und Fuhrmann, die Entwicklung der Wagentechnik – Patentachsen, Radbremsen, Federung – und die Erfolge der Pferdezucht, eine bessere Berechenbarkeit der Transporte, die Entstehung neuer Transportorganisationen und eines eigenständigen Transportgewerbes waren miteinander verbundene Faktoren einer grossen und in mancher Hinsicht entscheidenden Produktivitätssteigerung der Strassentransporte im 18. und in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Gerhold hat diese für England auf das Zweieinhalb- bis Dreifache für die schweren Frachttransporte über grosse Distanzen und auf das bis Vierfache für die kurzen Distanzen vor allem um die Städte und für den Postkutschenverkehr geschätzt.⁵⁵ Ähnliche Grössenordnungen sind nun auch für die Schweiz vermuten. Die präsentierten Rechnungsmodelle sowie die Eckwerte und deren Veränderungen verstehen sich als Grundlage für die notwendige und nun mögliche Quantifizierung der einzelnen Effekte und deren Interpretation im Rahmen des Transportsystems.

Anmerkungen

- 1 Vgl. dazu Schiedt Hans-Ulrich, «Die Entwicklung der Strasseninfrastruktur in der Schweiz zwischen 1740 und 1910», *Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte* 1 (2007), Berlin 2007, S. 39–54.
- 2 Beispielsweise Arbellot Guy, «La grande mutation des routes de France au milieu du XVIII^e siècle», *Annales E. S. C.* 3/28 (1973), S. 765–791; Bagwell Philip S., *The Transport Revolution from 1770*, London 1974; Behringer Wolfgang, *Im Zeichen des Merkur. Reichspost und Kommunikationsrevolution in der Frühen Neuzeit* (Veröffentlichungen des Max-Planck-Instituts für Geschichte 189), Göttingen 2003.
- 3 Die Studie entstand im Zusammenhang mit der Modellierung des historischen Individualverkehrs im *GIS-Dufour*, einem als Nationalfondsprojekt entwickelten geografischen Informationssystem zur historischen Raum- und Verkehrsforschung.

- 4 Der Titel des Kapitels ist einem der frühen wissenschaftlichen Werke über den Fuhrwerkverkehr entlehnt: Kröncke C[laus], *Versuch einer Theorie des Fuhrwerks mit Anwendung auf den Strassenbau*, Giessen 1802.
- 5 Die vorliegende Studie stützt sich neben Kröncke 1802 (wie Anm. 4) u. a. auf die folgenden Werke (eine Auswahl): Umpfenbach Franz Anton, *Theorie des Neubaues, der Herstellung und Unterhaltung der Kunststrassen*, Berlin 1830; Wesermann H. M., *Handbuch für den Strassen- und Brückenbau*, Düsseldorf 1830; [Youatt William], *The Horse. With a Treatise on Draught*, London 1831 (dt. Übersetzung: Stuttgart 1837); Corrèze Manés, «Memoire sur les routes et sur le roulage», *Annales des ponts et chaussées*, mémoires et documents, 1^{ère} série, 1^{er} semestre, Paris 1832, S. 145–209; Schwilgué, «Mémoire sur les routes et sur le roulage», *Annales des ponts et chaussées*, mémoires et documents, 1^{ère} série, 2^e semestre, Paris 1832, S. 189–249; Ritter von Gerstner Franz Joseph, *Handbuch der Mechanik*, 2. Aufl., 1. Bd., Prag 1833, VII. Kap.: *Frachtwägen, Strassen- und Eisenbahnen*; Navier C. L. *Considérations sur les principes de la police du roulage*, Paris 1835; Fourier, «Sur les effets utiles qu'on peut obtenir d'un cheval, à différentes vitesses, pendant une journée de travail, sur les routes ordinaires, les chemins de fer et les canaux», *Annales des ponts et chaussées*, 1^{ère} série, Paris 1836, S. 90–101; Parnell Henry, *A Treatise on Roads. Wherein the Principles on which Roads should be made are explained and illustrated, by the Plans, Specifications, and Contracts made use of by Thomas Telford*, 2. Aufl., London 1838; Dupuit J., *Essai et expériences sur le tirage des voitures*, Paris 1837; Dupit, J., *Mémoire sur le tirage des voitures et sur le frottement de roulement*, Paris 1842; Frey Johann Jakob, *Taschenbuch für Schweizerische Ingenieure beim Strassen- und Wasserbau, für den Besitzer von Wasserwerken und für Forstbeamte und Gemeindsvorsteher*, Zürich 1838; Morin Arthur, *Expériences sur le tirage des voitures, faites es 1837 et 1838*, Metz, Paris 1839; Maschek Franz Johann, *Theorie der menschlichen und thierischen Kräfte*, Prag 1842; Gillespie W. M., *A Manual of the Principles and Practice of Road-Making*, 8. Aufl., New York 1854; Brix Adolph Ferdinand Wenceslav, *Über die Reibung und den Widerstand der Fuhrwerke auf Strassen von verschiedener Beschaffenheit*, Berlin 1850; Bokelberg E., *Das Längen-Gefälle der Kunststrassen und dessen Einfluss auf die Nutzleistung der Zugthiere*, Hannover 1855; Von Kaven August, *Vorträge über Ingenieur-Wissenschaften an der polytechnischen Schule zu Hannover*, Hannover 1862; Roerdanz R., *Theorie der Kriegsfuhrwerke*, Berlin 1863; Evrard Alfred, *Les Moyens de transport appliqués dans les mines, les usines et les travaux publics*, 3 Bände, 1872–1882; Birk Alfred, *Der Wegebau. In seinen Grundzügen dargestellt für Studierende und Praktiker*, Vierter Teil: *Linienführung der Strassen und Eisenbahnen*, Leipzig, Wien 1915.
- 6 Evrard (wie Anm. 5), Bd. 1, S. 4 ff.; Girault Marcel, *Attelages et charrois au moyen-âge*, Nîmes 1992, S. 162. Die Korrelation zwischen Körpergewicht und ausdauernder Zugleistung ist auch heute noch unbestritten. Eine solche gibt es allerdings nicht bezüglich der kurzzeitig möglichen grösseren Zugleistung, die das durchschnittliche Optimum um ein Vielfaches übersteigen kann. Vgl. dazu Schulz Ina, *Belastung von in der gewerblichen Personenbeförderung eingesetzten Kutschpferden*, Hannover 2000, S. 26.
- 7 Die Gewichtsannahmen wären noch besser abzustützen. Eine wissenschaftlichen Ansprüchen genügende Geschichte der Pferdezzucht steht noch aus.
- 8 Girault (wie Anm. 6), S. 71.
- 9 Maschek (wie Anm. 5), S. 94 f.
- 10 Birk (wie Anm. 5), S. 16, nimmt 375 kg als Durchschnitt von Pferdegrossen zwischen 250 und 500 kg an.
- 11 Youatt (wie Anm. 5); Evrard (wie Anm. 5), Bd. 1.
- 12 Poncet Pierre-André, «Geschichtlicher Abriss der Schweizer Pferdezzucht», *Les sources de l'élevage du cheval en Suisse. Quellen der Schweizerischen Pferdezzucht*, hg. vom Schweizer Nationalgestüt, Avenches 2004, S. 39–54.
- 13 Maschek (wie Anm. 5), S. XXV, 94 f.
- 14 Girault (wie Anm. 6), S. 113 f.
- 15 Von Kaven (wie Anm. 5), S. 41.

- 16 Vgl. dazu: Schiedt Hans-Ulrich, «Landwirtschaft – ein Transportgewerbe (nicht nur) wider Willen», *Wege und Geschichte* 1 (2005), S. 4–11; Idel Anna Maria, *Tierschutzaspekte bei der Nutzung unserer Haustiere für die menschliche Ernährung und als Arbeitstier im Spiegel agrarwissenschaftlicher und veterinärmedizinischer Literatur aus dem deutschsprachigen Raum des 18. und 19. Jahrhunderts*, Berlin 1999, S. 107–186.
- 17 FAO, *Farm Implements for Arid and Tropical Regions*, rev. Ausg., bearb. von H. J. Hopfen, Rom 1969, S. 9 f; Schulz (wie Anm. 6), S. 23. Eine interessante Zusammenstellung der verschiedenen Leistungen von Zug- und Saumtieren findet sich auch noch bei Goe M. R., «Current Status of Research on Animal Traction», *World Animal Review* 45 (1983), S. 2–17.
- 18 Maschek (wie Anm. 5), S. 94 f; siehe unten, S. 124.
- 19 Girault (wie Anm. 6), S. 45.
- 20 Evrard (wie Anm. 5), Bd. 2, S. 121.
- 21 *Train-Reglement der schweizerischen Armee*, 1983, S. 142.
- 22 In der Fachliteratur wird für die hier verwendete *ausdauernde Zugkraft* auch der Begriff *Zuglast* verwendet.
- 23 Vgl. Bokelberg (wie Anm. 5), S. 24; Von Kaven (wie Anm. 5), S. 27 ff.
- 24 Von Kaven (wie Anm. 5), S. 27 ff. Die Geschwindigkeit von 3,6 km/h leitete sich nicht zuletzt aus der rechnerisch einfachen Annahme von 1 m/s ab.
- 25 Meitzen August, *Der Boden und die landwirtschaftlichen Verhältnisse des Preussischen Staates*, Bd. 3, Berlin 1871, S. 225, ordnete vier Schrittarten vier verschiedene Geschwindigkeiten zu: kurzer Schritt 4 km/h, gestreckter Schritt 5,6 km/h, kurzer Trab 8,8 km/h, gestreckter Trab 13,1 km/h.
- 26 Die Arbeitszeiten der Zugtiere bei verschiedenen Autoren: Evrard (wie Anm. 5): 10 h; Fourier (wie Anm. 5): 10 h; Birk (wie Anm. 5): 8 h; Girault (wie Anm. 6), S. 111: 8 h.
- 27 Schulz (wie Anm. 6), S. 23; Brunner Walter, *Untersuchungen über die Arbeitsleistung des schweizerischen Zugpferdes (Jurapferd)*, Zürich 1942, S. 52 f., 88.
- 28 Frey (wie Anm. 5), S. 98 ff., vergleicht seine theoretischen Annahmen oft mit den real höheren Belastungen der Zugtiere am Unteren Hauenstein und anderswo.
- 29 Maschek (wie Anm. 5), S. XXV, 94 f. Diese stimmen erstaunlich gut überein mit der Zusammenstellung entsprechender Werte bei Von Kaven (wie Anm. 5), S. 41 f.
- 30 Für die Thematik aufschlussreich: Navier (wie Anm. 5).
- 31 Die mascheksche Kraftformel ist auch bei Bokelberg (wie Anm. 5), S. 17 ff., bei Von Kaven (wie Anm. 5), S. 25 ff., und bei Birk (wie Anm. 5), S. 16 ff., hergeleitet und erklärt. Im Folgenden ist die Notation von Birk (wie Anm. 5), S. 18 f., übernommen.
- 32 Maschek (wie Anm. 5), S. 33 ff.
- 33 Von Kaven (wie Anm. 5), S. 25.
- 34 Diese Leistungswerte beziehen sich auf die erbrachte Zugkraft und nicht auf die Frachtgewichte.
- 35 Morin (wie Anm. 5), S. XXVIII, über seine mehr als 1000 Experimente mit Pferdefuhrwerken.
- 36 Morin (wie Anm. 5), S. XII.
- 37 Zum Beispiel Brix (wie Anm. 5), S. 184 ff.
- 38 Nach Morin (wie Anm. 5) gilt dies unabhängig von der Härte und Ebenmässigkeit der Strasse. Letzteres wird von Brix (wie Anm. 5), S. 183 ff., bezweifelt. Nach Dupuit (wie Anm. 5) und Umpfenbach (wie Anm. 5) wächst der Widerstand zwischen Rad und Strasse direkt proportional zum Druck und indirekt proportional zur Quadratwurzel des Raddurchmessers. Vgl. Umpfenbach (wie Anm. 5), S. 21 f.; Von Kaven (wie Anm. 5), S. 15 ff.
- 39 Morin (wie Anm. 5), S. 89 f.
- 40 Von Gerstner (wie Anm. 5), S. 571 ff., unterschied sechs Widerstände: die Achsreibung («drehende Reibung»), die zwischen Strasse und Rad resultierende «rollende» oder «wälzende» Reibung, das Einsinken der Räder in die Strassenoberfläche, die spezielle Reibung konischer Räder, die Zugrichtung und die Strassensteigung.
- 41 Meitzen (wie Anm. 23), S. 225. Von Kaven (wie Anm. 5), S. 19 ff., stellt die von verschiedenen Autoren eruierten Reibungskoeffizienten zusammen.

- 42 Brix (wie Anm. 5), S. 169 ff., fasst die Angaben verschiedener Autoren zusammen. Ebenfalls einbezogen sind die Angaben von Youatt (wie Anm. 5), S. 460 f., und Meitzen (wie Anm. 23), S. 225. Bei den nach den Pfeilen stehenden Werten handelt es sich um einen Mittelwert aufgrund der verschiedenen Angaben.
- 43 In diesem Koeffizienten ist die Achsreibung ebenfalls eingerechnet.
- 44 Fourier (wie Anm. 5) oder Evrard (wie Anm. 5) nehmen als Wagengewicht $\frac{3}{10}$ des Gesamtgewichts (Ladung und Wagen) an. Andere Autoren differenzieren da noch. Vgl. dazu Brix (wie Anm. 5), S. 177 f.: $\frac{1}{4}$ bei kleineren Wagen und Lasten und $\frac{3}{10}$ bei grösseren.
- 45 Brix (wie Anm. 5), S. 179; Schwilgué 1832, S. 189–249; Navier 1835.
- 46 Zu den verschiedenen Widerständen bei den Fuhrwerken vgl. auch Von Gerstner (wie Anm. 5), S. 571 ff.
- 47 Bokelberg (wie Anm. 5).
- 48 Ebd., S. 9.
- 49 Ebd., S. 13 ff.
- 50 Zur Herleitung der Formel vgl. Bokelberg (wie Anm. 5), S. 13 ff.
- 51 Nach Birk 1915, S. 17.
- 52 Dieser Schluss wird auch durch die von Bokelberg (1855), 32) angeführte Erhebung gestützt, wonach in der relativ ebenen Umgebung von Hannover und für Chausseen mit intensivem Frachtverkehr ein- und zweispännige Fuhrwerke mit 86% aller Fuhrwerke stark überwogen: 29,6% einspännige Wagen, 56,3% zweispännige Wagen, 7,7% dreispännige Wagen, 5,2% vierspännige Wagen, 0,9% fünfspännige Wagen und 0,3% sechsspännige Wagen. Dieses Verhältnis dürfte in der Schweiz noch ausgeprägter gewesen sein.
- 53 Morin (wie Anm. 5), S. XXVIII, bezog sich auf den Aufzeichnungsmechanismus des eigens für seine Versuche konstruierten sogenannten Dynamometers.
- 54 Bokelberg (wie Anm. 5), S. IV.
- 55 Vgl. dazu Gerhold Dorian, «Productivity Change in Road Transport Before and After Turnpiking, 1690–1840», *Economic History Review* XLIX/3 (1996), S. 491–515. Die Texte von Gerhold sind diesbezüglich wegweisend.