

# Qualitätsbewertung von Eisenbahnstrecken

Entwicklung einer Methode zur Qualitätsbeurteilung auf Basis eines Kenngrößensets

WIEBKE LENZE | MATTHIAS BÄR | JAN EISOLD | NILS NIESSEN | UWE STEINBORN

**Das angestrebte Wachstum auf der Schiene muss auch immer mit der Sicherstellung einer angemessenen Qualität des Bahnbetriebs einhergehen. Zu diesem Zweck wurde in einem Forschungsvorhaben analysiert, welche Anforderungen verschiedene Systembeteiligte an einen qualitativ hochwertigen Fahrplan und Betrieb stellen. Daraus wurden anschließend mehrere Kenngrößen abgeleitet, die gleichzeitig Anforderungen der Systembeteiligten geeignet abbilden und eine widerspruchsfreie Bewertung der Ergebnisse aus simulativen und analytischen Verfahren der Eisenbahnbetriebswissenschaft unter definierten Randbedingungen ermöglichen. Um mit dem ausgewählten Kenngrößenset eine gesamthafte Qualitätsbewertung abgeben zu können, wurde eine Methodik zur Gesamtbeurteilung auf Basis von Einzelkenngrößen entwickelt.**

## Einleitung

Der Masterplan Schienenverkehr [1] hat zum Ziel, bis 2030 die Zahl der Fahrgäste im Schienenpersonenverkehr zu verdoppeln und den Anteil des Schienengüterverkehrs auf 25 % des Modal Splits zu erhöhen. Eine wesentliche Voraussetzung für ein solches Wachstum auf der Schiene ist die Sicherstellung einer angemessenen Betriebsqualität auch bei steigenden Verkehrsmengen. Doch wie genau lässt sich die Qualität des Betriebs definieren und messen?

Eine allgemeine Qualitätsdefinition ist in der Norm DIN EN ISO 9000 [2] dokumentiert. Demnach wird die Qualität von Dienstleistungen durch ihre Fähigkeit bestimmt, Kunden zufrieden zu stellen. Neben Kunden sind „relevante interessierte Parteien“, auf welche Dienstleistungen beabsichtigte und unabsichtliche Auswirkung haben, zu berücksichtigen.

Als eine weitere europäische Norm widmet sich DIN EN 13816 [3] dem Thema Qualität mit Fokus auf den öffentlichen Personennahverkehr. Im Dienstleistungsqualitätskreis werden die Beziehungen zwischen angestrebter, erbrachter, wahrgenommener und erwarteter Qualität verdeutlicht. Für die Bestimmung der Kundenzufriedenheit ist es demnach elementar, die erwartete und wahrgenommene Qualität zu messen.

Die Fragestellung, welche Kenngrößen für die Messung von Qualität im Eisenbahnbetrieb geeignet sind, wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes an der TU Dresden und RWTH Aachen im Auftrag der DB Netz AG bearbeitet. Ziel war es, Kenngrößen auszuwählen, die einerseits geeignet sind, die Qualität zu messen und andererseits eine widerspruchsfreie Bewertung der Ergebnisse aus simulativen und analytischen Verfahren der Eisenbahnbetriebswissenschaft unter definierten Randbedingungen zu ermöglichen. Für das vorgeschlagene Kenngrößenset wurde anschließend eine Methode zur Gesamtbeurteilung der Qualität unter Berücksichtigung der einzelnen Kenngrößen entwickelt.

## Geeignete Kenngrößen zur Bewertung der Qualität auf Eisenbahnstrecken

Der Fokus dieser Untersuchung liegt auf der Auswahl geeigneter Kenngrößen zur Bewertung des

Eisenbahnbetriebs und des zugrundeliegenden Fahrplans. Wie bereits in der Qualitätsdefinition der Norm DIN EN ISO 9000 [2] erwähnt, ist die Beachtung der Belange aller interessierter Parteien notwendig, um Qualität zu messen. Wesentliche Systembeteiligte des Eisenbahnbetriebs sind Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU), Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) sowie Endkunden des Personen- und Güterverkehrs (Reisende und Verloader).

## Interessen der Systembeteiligten

EIU betreiben Eisenbahninfrastruktur und sind an der optimalen Nutzung dieser Anlagen interessiert. Es wird angestrebt, bei geringen Kosten die Trassenerlöse zu maximieren. Voraussetzung für den Verkauf von Trassen ist eine entsprechend gute Qualität des Angebots. Dabei sind die Interessen der Endkunden bezüglich des Fahrplans und des Betriebs relevant. Zudem ist die DB Netz als Infrastrukturbetreiber im Auftrag des Bundes verpflichtet, den Betrieb sowohl wirtschaftlich effektiv als auch mit hoher Qualität sicherzustellen.

EVU erbringen Dienste zur Beförderung von Gütern oder Personen im Eisenbahnverkehr. Dabei ist es notwendig, den Qualitätsanforderungen der Endkunden zu entsprechen und Verkehrsleistungen zu erbringen, die einerseits so schnell wie möglich und andererseits auch zeitlich zuverlässig sind. Gleichzeitig wünschen sich EVU einen wirtschaftlichen Fahrzeug- und Personaleinsatz. Auch im Rahmen der Trassenbestellungen werden geringe Kosten präferiert.

Endkunden im Eisenbahnwesen sind Reisende und Verloader. Ihre Verkehrsmittelwahl wird (neben den Kosten) maßgeblich von der wahrgenommenen Qualität beeinflusst. Relevante Interessen der Endkunden bezüglich des Fahrplans sind die planmäßige zeitliche Lage und Dauer der gesamten Reise- bzw. Transportkette. Der Betrieb wird anhand seiner Zuverlässigkeit bewertet. Eine wichtige Kenngröße ist dabei die Ankunftsverspätung am Ziel.

## Bewertung von Kenngrößen

Im Rahmen einer umfassenden Literaturrecherche wurden Kenngrößen zur Bewertung des Fahrplans und des Eisenbahnbetriebs gesammelt und in einer Kenngrößentabelle zusammengestellt. Anschließend wurde, wie in Tab. 1 dargestellt, eine Bewertung aus Sicht der Systembeteiligten vorgenommen. Um anschließend aus den Einzelbewertungen eine Priorisierung der Kenngrößen abzuleiten, wurden die Be-

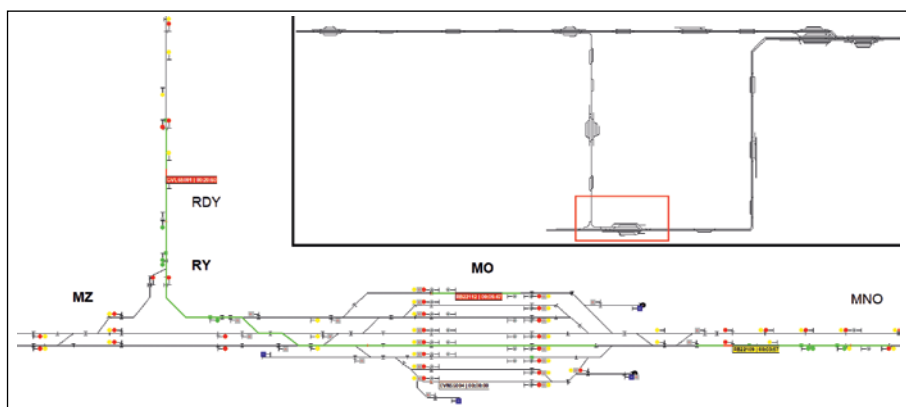


Abb. 1: Netzdarstellung und Detailausschnitt für vergleichende Untersuchungen mit der Dresdner Eisenbahnsimulation

Quelle: TU Dresden

wertungen gewichtet, und das Ergebnis wurde mithilfe einer Sensitivitätsanalyse überprüft.

Da ein wesentliches Ziel des Projektes in der Auswahl von Kenngrößen bestand, die gleichzeitig geeignet sind, Qualität zu messen und eine widerspruchsfreie Bewertung der Ergebnisse simulativer und analytischer Verfahren der Eisenbahnbetriebswissenschaft zu ermöglichen, wurden die als relevant eingestuften Kenngrößen auf ihre Ermittelbarkeit mit diesen Verfahren geprüft.

Die Ergebnisse analytischer und simulativer Verfahren können nur unter bestimmten Randbedingungen vergleichbar sein. Für einen ausführlichen Vergleich der Verfahrensgrundsätze sei auf [4] verwiesen. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde das analytische Verfahren GAST [5] im Vergleich zu der an der TU Dresden entwickelten synchronen „Dresdner Eisenbahnsimulation“ betrachtet. Ein Ausschnitt aus dem untersuchten Beispielsnetz ist in Abb. 1 dargestellt. Die Anwendung der fahrplanabhängigen Analytik nach GAST ist auf Teilstrecken beschränkt. Durch diese Verfahrenseinschränkungen konnten einige Kenngrößen mit hoher Relevanz für die Systembeteiligten, wie beispielsweise die Kenngrößen Reisekettenpünktlichkeit oder infrastrukturbezogene Behinderungen, (noch) nicht weiter betrachtet werden.

**Auswahl der Kenngrößen**

Einen Überblick über den gesamten Ablauf der Kenngrößenauswahl gibt Abb. 2. Im Anschluss an die Selektion der ermittelbaren Kenngrößen erfolgte eine Auswahl der relevanten Kenngrößen unter Beachtung von Redundanzen. So besteht beispielsweise zwischen den Kenngrößen Pünktlichkeit und Verspätung eine Abhängigkeit. Die Pünktlichkeit eines Zuges wird aus der Verspätung unter Berücksichtigung einer definierten Pünktlichkeitsgrenze abgeleitet. Durch die Beachtung einer Pünktlichkeitsgrenze und der damit einhergehenden Einteilung der Züge in die beiden Kategorien pünktlich/unpünktlich beinhaltet die Kenngröße Pünktlichkeitsgrad allerdings weniger Informationen verglichen mit der Verspätung an Messpunkten. Somit wurde die Kenngröße Verspätung ausgewählt.

Um die Interessen der verschiedenen Systembeteiligten zu beachten, erscheint die Festlegung eines Kenngrößensets anstelle einer einzelnen Kenngröße geeignet. Es werden die folgenden zwei Fahrplan- und vier Betriebskenngrößen für die Qualitätsbeurteilung des Bahnbetriebes auf einer betrieblichen Infrastruktur empfohlen:

- Beförderungszeitquotient Fahrplan
- verketteter Belegungsgrad Fahrplan
- Verspätung an Messpunkten
- außerplanmäßige Wartezeiten
- Beförderungszeitquotient Betrieb
- Verspätungskoeffizient

Der Beförderungszeitquotient Fahrplan entspricht dem Quotienten aus planmäßiger Beförderungszeit und Regelbeförderungszeit. Dabei wird angegeben, in welchem Ausmaß verkehrliche und betriebliche Interaktionen mit anderen

Kenngröße	Bewertung aus Sicht der				Gesamtrang
	Reisenden	Verlader	EVU	EIU	
Fahrplankenngrößen	Mittlere planmäßige Reisegeschwindigkeit				
	Mittlere planmäßige Beförderungsgeschwindigkeit				
	Reisezeitquotient Fahrplan				
	Beförderungszeitquotient Fahrplan				
	Verketteter Belegungsgrad Fahrplan				
	Anteil planmäßiger Anschlüsse				
...					
Betriebskenngrößen	Mittlere tatsächliche Reisegeschwindigkeit				
	Mittlere tatsächliche Beförderungsgeschwindigkeit				
	Reisezeitquotient Betrieb				
	Beförderungszeitquotient Betrieb				
	Pünktlichkeitsgrad Kunde				
	Pünktlichkeitsgrad Zug				
...					

Tab. 1: Auszug aus der Kenngrößentabelle

Quelle: RWTH Aachen/TU Dresden

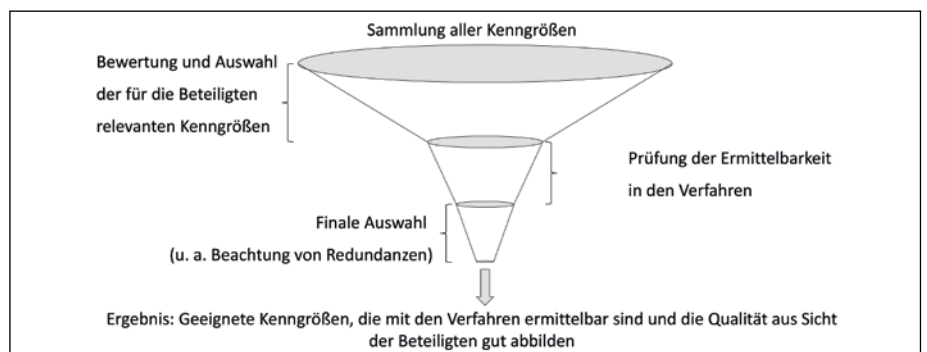


Abb. 2: Schematische Darstellung des Ablaufs der Kenngrößenauswahl

Quelle: RWTH Aachen/TU Dresden

Zugtrassen die für den Laufweg mindestens erforderliche Zeit verlängern. Somit bildet er die Interessen der Endkunden nach attraktiven Fahrzeiten ab. Gleichzeitig ist er als spezifische Größe gut zwischen unterschiedlichen Zügen und unterschiedlichen Szenarien vergleichbar.

Der verkettete Belegungsgrad des Fahrplans wird aus der Gesamtbelegungszeit bezogen auf den Untersuchungszeitraum bestimmt. Diese Kenngröße ist ein Maß für die Auslastung der Infrastruktur.

Die Verspätung entspricht der Abweichung einer Zugfahrt von ihrer Planlage und steht damit für die Güte der Realisierung des Fahrplans bzw. der Zugfahrt. Außerplanmäßige Wartezeiten werden in den analytischen Verfahren als die Summe der behinderungsbedingten Folgeverspätungen ausgegeben und sind so wie die Gesamtverspätung bei Simulationen Indikatoren für die Betriebsqualität, da sie die direkten Folgen von Behinderungen des Zuges dokumentieren.

Die Kenngröße Beförderungszeitquotient Betrieb entspricht dem Quotienten aus tatsächlicher und planmäßiger Beförderungszeit. Er spiegelt die Stabilität des Betriebs in Bezug auf den Fahrplan wider. Fahrplanreserven haben eine doppelte Wirkung auf den Beförderungs-

zeitquotienten Betrieb: Sie verringern ihn durch die Erhöhung der planmäßigen Beförderungszeiten und auch durch verstärkt möglichen Verspätungsabbau. Um nicht nur geringe Verspätungen, sondern auch attraktive Fahrzeiten zu gewährleisten, wird ebenfalls die Kenngröße Beförderungszeitquotient Fahrplan betrachtet. Der Verspätungskoeffizient ergibt sich aus der Summe von Ausbruchsverspätung und Endverspätung bezogen auf die Summe von Einbruchsverspätung und Urverspätung. Er ist damit ein Maß für im Streckenabschnitt entstehende Folgeverspätungen bzw. zum Verspätungsabbau in Relation zum Verspätungsniveau und zu Urverspätungen. Als spezifische Größe ist der Koeffizient gut zwischen unterschiedlichen Szenarien vergleichbar.

**Methode zur Gesamtbeurteilung eines Kenngrößensets**

Um die Interessen aller Beteiligten adäquat abbilden zu können, benötigt man für das Set an Kenngrößen zur Bewertung der Fahrplan- und Betriebsqualität im Eisenbahnwesen eine Methode zur vergleichbaren Bewertung. Bei der Bewertung sollen folgende Prämissen Beachtung finden:

Betriebsqualität	premium	optimal	risikobehaftet	mangelhaft
Qualitätsfaktor	<0,5	0,5 bis 1,2	1,2 bis 1,5	>1,5

Tab. 2: Qualitätsstufen für die Kenngröße außerplanmäßige Wartezeiten gem. DB Ril 405.0101 [7]

- Alle Qualitätskenngrößen sollen angemessen berücksichtigt werden. Das heißt, das Gesamtergebnis soll sich aus allen Kenngrößen entsprechend ihrer Relevanz ergeben (etwa in Form einer gewichteten Mittelung), soll aber auch insgesamt nur begrenzt besser ausfallen als die schlechteste Beurteilung unter den einzelnen Kenngrößen.
- Die Beurteilung der einzelnen Qualitätskenngrößen soll auf Basis einer Differenzierung nach Zugfamilien möglich sein.

Als Ausgangsbasis für die Gesamtbewertung des Kenngrößensets dienen Qualitätsmaßstäbe der einzelnen Kenngrößen. Für einen Großteil der Kenngrößen wurden Qualitätsmaßstäbe bereits festgelegt und in der DB Richtlinie 405 [6] dokumentiert. Für die verbleibenden Kenngrößen sind noch geeignete Maßstäbe festzulegen. Für die folgende Gesamtbewertung sind einheitliche Qualitätsstufen aller betrachteten Kenngrößen erforderlich. Möglich ist die Anwendung der bereits für die Kenngröße außerplanmäßige Wartezeit üblichen Gliederung der Stufen in die Bereiche „premium/wirtschaftlich optimal/risikobehaftet/mangelhaft“ aus [6] sowie ihre Abbildung mittels des Qualitätsfaktors (Tab. 2). Der Qualitätsfaktor besitzt aufgrund seiner Definition (vorhandene außerplanmäßige Wartezeit geteilt durch zulässige außerplanmäßige Wartezeit) den Idealwert bei 1,0. Alternativ könnte die Clusterung beispielsweise basierend auf einer Notenskala durchgeführt werden.

### Zusammenfassende Bewertung jeder Kenngröße

In einem ersten Schritt wird für jede Qualitätskenngröße eine Bewertung ermittelt. Dies geschieht durch die Bildung eines gewichteten Mittels über alle Einzelbewertungen der Zugfamilien, gewichtet mit ihrem Anteil an Zügen im Betriebsprogramm. Lediglich die Kenngröße verketteter Belegungsgrad kann nicht nach Zugfamilien gegliedert werden. Da im Gegensatz zu den anderen Qualitätsstufen der Wertebereich der Qualitätsstufe „mangelhaft“ nach oben offen ist, könnten diese Werte das Gesamtergebnis unangemessen beeinflussen. Daher wird empfohlen, die Werte der Qualitätsfaktoren vorab bei einem vorgegebenen Wert zu kappen. Die Kappung kann beispielsweise bei dem Wert 2,0 erfolgen, sodass die schlechteste Qualitätsstufe dieselbe Klassenbreite von 0,5 aufweist wie die beste Qualitätsstufe (premium).

### Zusammenfassende Bewertung des Kenngrößensets

Im zweiten Schritt erfolgt eine Zusammenfassung der Bewertungen nach den einzelnen Qualitätskenngrößen. Es wird empfohlen, dabei sowohl eine geeignet gewichtete Einbeziehung aller ausgewählten Kenngrößen als auch Schranken auf Basis der schlechtesten Einzelbewertungen einzelner Kenngrößen miteinander zu kombinieren.

Die Gewichtung der Kenngrößen könnte einheitlich auf Basis ihrer Bedeutung für die Betei-

ligten erfolgen. Dies könnte generell ermittelt bzw. festgelegt werden. Alternativ könnte die Gewichtung auch aufgabenspezifisch vorgegeben werden.

Zur Aggregation der Bewertungen der ausgewählten Qualitätskenngrößen wird ähnlich vorgegangen wie bei der Aggregation der Bewertungen der Zugfamilien innerhalb der einzelnen Qualitätskenngrößen, indem zunächst ein gewichteter Mittelwert gebildet wird.

Darüber hinaus sollte die Gesamtbewertung nicht deutlich besser ausfallen als die Einzelbewertungen der Qualitätskenngrößen. Der Abgleich mit der schlechtesten Einzelbewertung erfolgt beispielsweise in der Weise, dass die Gesamtbewertung maximal eine Qualitätsstufe besser als die schlechteste Einzelbewertung ausfallen darf. Da die vier hier betrachteten Qualitätsstufen im Mittel 0,5 Einheiten des Qualitätsfaktors breit sind, sollte die Gesamtbewertung mit der schlechtesten Einzelbewertung abzüglich 0,5 verglichen werden.

### Fazit und Ausblick

Die Qualität des Eisenbahnbetriebs lässt sich nur unter Beachtung der Interessen aller relevanter Beteiligten definieren. Da die gleichzeitige Betrachtung mehrerer Kenngrößen erforderlich ist, um verschiedene Interessen abzubilden, wurde ein Kenngrößenset für die Messung der Betriebsqualität und gleichzeitiger widerspruchsfreier Bewertung der Ergebnisse mit simulativen und analytischen Verfahren entwickelt.

In Abhängigkeit von der Fragestellung und den verwendeten Verfahren kann die Relevanz der Kenngrößen variieren. Dies wurde bei der Entwicklung der Methode zur Gesamtbeurteilung durch verschiedene festzulegende Gewichtungsfaktoren berücksichtigt. Mit dieser Methode ist es möglich, mehrere Kenngrößen in Abhängigkeit von ihrer Priorität und differenziert nach Zugfamilien zu gewichten. So lässt sich eine Gesamtbewertung verschiedener Kenngrößen erreichen.

Für eine abschließende Bewertung geeigneter Qualitätskenngrößen erscheint es empfehlenswert, zusätzlich umfangreichere Befragungen bei den Systembeteiligten durchzuführen und überdies beispielsweise auch die Sicht beteiligter Behörden miteinzubeziehen. Es besteht darüber hinaus die Notwendigkeit, zum Teil noch nicht vorhandene Qualitätsmaßstäbe für einzelne Kenngrößen festzulegen und bereits festgelegte Maßstäbe zu validieren.

Ein nächster Schritt bei der Anwendung der entwickelten Methode zur Gesamtbewertung der Qualität sollte darin bestehen, die damit erzielten Aussagen von der Anwendung bestimmter eisenbahnbetriebswissenschaftlicher Werkzeuge zu entkoppeln. Es wurden bereits erste vergleichende Beispieluntersuchungen mit dem analytischen Verfahren GAST, der synchronen Dresdener Eisenbahnsimulation und der Simulation RailSys durchgeführt. Dabei haben sich ähnliche Trends bei den resultierenden Verspätungen gezeigt. Weitere Untersuchungen zur

Prüfung, unter welchen Randbedingungen die Ergebnisse der verschiedenen Werkzeuge zu vergleichbaren Aussagen führen, bzw. wie eine solche Vergleichbarkeit künftig erreicht werden kann, sind geplant. ■

### QUELLEN

- [1] Masterplan Schienenverkehr, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2020
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe. DIN EN ISO 9000, 2015
- [3] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Transport – Logistik und Dienstleistungen. Öffentlicher Personenverkehr. Definition, Festlegung von Leistungszielen und Messung der Servicequalität, DIN EN 13816. 2002
- [4] Bär, M.; Lenze, W.; Eisold, J.; Nießen, N.: Benchmark von Qualitätsmaßstäben für Kapazitätsermittlungen, in: IRSA 2019: Tagungsband, Proceedings: 2nd International Railway Symposium Aachen, RWTH Aachen University 2020, S. 512–525
- [5] Gast, I.; Steinborn, U.: Vermarktungskapazität – wie viel Qualität verträgt der Markt? EBWU, Deine Bahn, 8/2018, S. 44–51
- [6] DB Netz AG: Richtlinie 405 – Fahrwegkapazität, Ril 405, 2009
- [7] DB Netz AG: Richtlinie 405.0101 – Grundlagen für EBWU, 01.11.2021



#### Wiebke Lenze, M. Sc.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Verkehrswissenschaftliches Institut  
RWTH Aachen, Aachen  
lenze@via.rwth-aachen.de



#### Dr.-Ing. habil. Matthias Bär

Ehem. Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Institut für Bahnsysteme  
und öffentlichen Verkehr  
TU Dresden, Dresden  
bsrv@mailbox.tu-dresden.de



#### Dr.-Ing. Jan Eisold

Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Institut für Bahnsysteme  
und öffentlichen Verkehr  
TU Dresden, Dresden  
jan.eisold@tu-dresden.de



#### Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen

Institutsleiter  
Verkehrswissenschaftliches Institut  
RWTH Aachen, Aachen  
niessen@via.rwth-aachen.de



#### Dr.-Ing. Uwe Steinborn

Senior-Referent  
Fahrwegkapazität und EBWU  
DB Netz AG, Berlin  
uwe.steinborn@deutschebahn.com