

# Die reale Welt wartet nicht

Ob in der Industrie, im Handel oder im persönlichen Alltag: Echtzeitanwendungen umgeben uns. Sie stellen verschiedene Ansprüche hinsichtlich der erlaubten Verzögerung und reagieren unterschiedlich kritisch, wenn die tatsächliche größer ist.

TEXT — Heinz-Jürgen Köhler

**B**adamm, badamm, babadamm. Arrhythmisch sieht man das Herz auf dem Monitor schlagen. Eine technologische Innovation eröffnet neue Möglichkeiten in der Untersuchung von Herzrhythmusstörungen: das Echtzeit-MRT. Die Magnetresonanztomografie ist ein bildgebendes medizinisches Untersuchungsverfahren. Dank der Entwicklung des Göttinger Physikers Jens Frahm sind Bewegtbilder aus dem Inneren des Körpers in Echtzeit möglich. Frahms mit dem Europäischen Erfinderpreis ausgezeichnetes Verfahren kommt mit einer speziellen Technologie auf eine Aufzeichnungsgeschwindigkeit von bis zu 50 Bildern pro Sekunde: Nur ein Teil dieser 50 Bilder beruht auf Messungen; Rekonstruktionsalgorithmen berechnen die Unterschiede zwischen den gemessenen Bildern und füllen die Lücken dazwischen aus.

Von solchen Hightechanwendungen bis hin zur Nahverkehrs-App auf dem Smartphone: Überall sind wir von Echtzeitanwendungen umgeben. „Wo immer Computer mit der realen Welt interagieren, steckt heute in der Regel Echtzeit dahinter“, betont Björn Brandenburg vom Max-Planck-Institut für Softwaresysteme. Einen starken Real-World-Impact nennt das der Leiter der dortigen Real-Time Systems Group. Doch die Echtzeit wird in diesen verschiedenen Bereichen unterschiedlich definiert, und sie nicht einzuhalten hat unterschiedlich starke Konsequenzen. Echtzeit wird gemeinhin in harte und weiche Echtzeit unterschieden, bei der ersten hat die Überschreitung des Zeitlimits erhebliche Konsequenzen, bei der zweiten wird nur die Qualität einer Leistung gemindert. Bei dieser Unterscheidung findet Brandenburg zumindest die Absolutheit der Aussage fragwürdig. „Es gibt härtere und weichere Echtzeit“, so der Softwarespezialist. Ob die Nahverkehrs-App die fünfminütige Verspätung der S-Bahn 30 oder 60 Sekunden verzögert anzeigt, ist kaum relevant. Beim Echtzeit-MRT kommt es auch eher auf die Flüssigkeit der Bewegung an und nicht darauf, ob diese mit einer Minute Verspätung übertragen wird.

Wenn Amazon indes meldet, eine Verzögerung des Seitenaufbaus der Homepage um 100 Millisekunden koste ein Prozent Umsatz, geht es um einen deutlichen wirtschaftlichen Schaden. Und wenn ein Airbag bei einem Unfall oder ein Flugzeug bei einem automatischen Landevorgang zeitversetzt auf Befehle reagiert, kann das Konsequenzen für Leib und Leben von Menschen haben. Die Übergänge, so Brandenburg, zwischen hart und weich sind fließend. „Ich muss immer schauen, welche Restriktionen ich hinnehmen kann und welche Maßnahmen ich gegebenenfalls bereit wäre umzusetzen, um die Restriktionen zu beseitigen.“

### IMMER LATENTE VERZÖGERUNGEN

Echtzeitsysteme unterliegen immer einer latenten Verzögerung. „Und diese Verzögerung ist ein additives Phänomen“, betont Brandenburg. Beispiel: das Antiblockiersystem eines Autos. Die Sensoren prüfen die Traktion an den Reifen,

geben dann Informationen an die Räder, die Aktuatoren und schließlich an die zentrale Steuerungseinheit des Fahrzeugs, die dann gegebenenfalls Maßnahmen initiiert. Bei all diesen Vorgängen entstehen latente Verzögerungen, die sich zu einer End-to-End-Delay summieren. Um diese zu minimieren, müssen alle Schritte einzeln analysiert und optimiert werden. Eine große Rechnerkapazität, wie sie etwa Quantencomputer bieten, ist dabei sicher hilfreich. Auch Edgecomputing, bei dem gewisse Daten an den Rändern des Systems verarbeitet werden und nicht erst in die Zentraleinheit geschickt werden müssen, kann die Performance verbessern.

Entscheidend ist nicht zuletzt auch der Weg, den Daten zurücklegen müssen. Die Entfernung und die Anzahl der Zwischenstationen beeinflussen die Übertragungsgeschwindigkeit. Flächendeckende Umsetzung von Industrie 4.0, autonomem Fahren und dem Internet of Things, bei dem große Volumina über weite Strecken geschickt werden müssen, werden nur mit dem leistungsfähigen 5G-Mobilfunkstandard umzusetzen sein, sind sich Experten sicher. Auf einen besonders weiten Weg schickt EarthNow Daten: Das 2017 gegründete amerikanische Start-up kündigt eine Erdbeobachtung per Satelliten in Echtzeit an. Ein flächendeckendes Netz von Hightechsatelliten und ein hochperformantes Übertragungssystem sollen garantieren, dass User etwa illegalen Fischfang oder entstehende Umweltkatastrophen in Echtzeit wahrnehmen. Der Luft- und Raumfahrtgigant Airbus, der auch die Satelliten produzieren will, und Bill Gates haben in das Unternehmen investiert. Wann dieser Service zur Verfügung stehen wird, sagt das Unternehmen bisher indes nicht.

### DAS WORST-CASE-VERHALTEN VORHERSAGEN

Am Max-Planck-Institut für Softwaresysteme in Kaiserslautern untersucht Björn Brandenburg das Worst-Case-Verhalten von Echtzeitsystemen. Sind große Rechnerkapazitäten Garanten für verlässliches Echtzeitverhalten? „Jein“, sagt der Forscher. Große Kapazitäten bieten im Mittel sicher eine gute Performance, sind aber nicht gegen Ausschläge nach unten gefeit. „Weist ein System gute Durchschnittswerte auf, habe ich oftmals viele sehr gute und einige wenige sehr schlechte Werte“, erklärt Brandenburg. Diese schlechten Werte dürfen aber beim Auslösen eines Airbags nicht vorkommen. Deshalb betreibt der Forscher sogenannte Worst-Case-Execution-Time-Analysen. Was sind die schlechtestmöglichen Werte eines Systems bei der Ausführung eines Befehls? Dazu untersucht er auf Programmierungsebene den längsten Pfad und unterzieht ihn Tests. „Viel Last generieren, Bottlenecks feststellen und Stress draufgeben. Das ist ein ziemlich aufwendiges Verfahren.“

Das alles dient der Optimierung von härteren Echtzeitsystemen wie Airbags oder Flugzeugsteuerungen, bei denen Verzögerungen erhebliche Konsequenzen haben. Denn, wie Björn Brandenburg lakonisch sagt: „Die reale Welt wartet nicht, bis der Computer fertig ist.“



Brytes wurde 2017 von Hendryk Hosemann und vier Co-Foundern in Dortmund gegründet. Das Start-up befindet sich aktuell am Ende der Pilotierungsphase und will 2019 auf dem Markt auftreten. Aktuell hat Brytes elf Mitarbeiter, darunter sind neben Softwarespezialisten auch Behavioral Economists und Data-Scientists.  
[www.brytes.de](http://www.brytes.de)

# „Entscheidungsmomente anschauen“

**Echtzeit im E-Commerce: Wie man menschliches Verständnis in den Onlinehandel bringen kann,** erzählt Hendryk Hosemann, CEO des Start-ups Brytes.

## Welchen Service bietet Brytes und welche Kunden sprechen Sie damit an?

Wir bieten Webshops eine sogenannte psychografische Onlinepersonalisierung. Dabei gehen wir in drei Schritten vor. 1) Wir identifizieren den Besucher eines Webshops und analysieren per Tracking, wie er sich auf der Seite bewegt. 2) Wir versuchen ein Verständnis des Users aufzubauen: Was für ein Mensch ist das in diesem Moment, was sucht er, was will er? 3) Wir nutzen das Verständnis und reagieren in Echtzeit, indem wir etwa Messages ausspielen. Es geht also insgesamt darum, den Besucher in seiner jeweiligen Situation besser zu verstehen.

Wir machen Websites empathischer und bringen menschliches Verständnis in die Onlinekommunikation. Geeignet ist das für alle Unternehmen, die Wert auf die Customerexperience legen. Das betrifft durchaus nicht nur hochpreisige Konsumgüter, sondern auch Massenmärkte. Selbst im Lebensmittelshopping hat das Sinn, denn da geht es ja um Gewohnheit und ein Gefühl der Vertrautheit.

## Anhand welcher Parameter analysieren Sie die aktuelle Befindlichkeit eines Users?

Wir ziehen über 200 Parameter heran, um die Entscheidungs- und Kauftreiber des Besuchers zu verstehen. Das sind etwa seine Scroll- und Mausbewegungen – bewegt er sich in eine Richtung, wie schnell ist er? In welcher Reihenfolge schaut er sich Angebote an, wo zögert er? Kommt er über die Übersichtsseite oder über Weiterempfehlungen? Wir sprechen von einer Decisionjourney, das ist im Grunde eine runtergebrochene Customerjourney, mit der man sich die Entscheidungsmomente anschauen kann.

## Inwieweit greifen Sie auch auf andere Daten zu, die der User im Internet hinterlässt?

Die Analyse des Nutzerverhaltens im Webshop unseres Kunden bei früheren Besuchen oder im Internet generell ist für uns nicht relevant. Unser System reagiert in Echtzeit auf das aktuelle Verhalten eines Besuchers. Auch wenn er zum wiederholten Mal käme oder zuvor im Webshop eines Wettbewerbers gewesen wäre, würde das System nicht anders reagieren. Und auch wenn wir das technisch könnten, speichern wir die Daten der Kunden nicht.

## Wie definieren Sie Echtzeit, und was tun Sie, um diese zu erreichen?

Wenn wir von Echtzeit sprechen, bewegen wir uns im Bereich von Millisekunden. Feiner ist das technisch nicht hinzukriegen, wir laden so schnell, wie die Seite lädt. Unseren Kunden ist verzögerungsfreie Webseitenperformance wichtig und da passen wir uns an. Ohne eine subjektiv vom User gefühlte Verzögerung analysieren wir sein Verhalten und reagieren darauf. Das stellt natürlich Ansprüche an die Infrastruktur und die Serverkapazitäten. Außerdem halten wir für unsere Kunden ein Contentdeliverynetwork bereit, mit dessen Hilfe er Belastungsspitzen abfedern kann.

# „Prediction dank Echtzeit“

Den aktuellen und künftig erwartbaren Nutzen von Echtzeit in der Produktionssteuerung erklärt Prof. Günther Schuh.



Prof. Dr. Günther Schuh ist Inhaber des Lehrstuhls für Produktionssystematik und Produktionsmanagement sowie geschäftsführender Direktor des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen. Er gründete die StreetScooter GmbH, die E-Transporter produziert, und e.GO Mobile AG für E-Pkw, wo er heute noch als CEO tätig ist.  
[www.wzl.rwth-aachen.de](http://www.wzl.rwth-aachen.de),  
[www.e-go-mobile.com](http://www.e-go-mobile.com)

## Was bedeutet Echtzeit in der Produktionssteuerung?

Im ersten Schritt reden wir von einer relativen Echtzeit. Und die ist abhängig von der jeweiligen konkreten Anforderung. So ergibt sich eine absolute Echtzeit aus der Übertragungsgeschwindigkeit der Signalverarbeitung und liegt im Millisekundenbereich; die brauchen wir in der Produktionssteuerung oft aber gar nicht. Für eine Produktionsprogrammplanung – das ist eine Wochenplanung – ist in der Regel eine Verzögerung von zehn bis 30 Minuten absolut tolerabel. Für die Steuerung einer Montage jedoch darf sie 30 bis 120 Sekunden nicht überschreiten, um auf Störungen entsprechend reagieren zu können. Bei spanenden Werkzeugmaschinen etwa wäre es indes sogar gut, innerhalb von Millisekunden zu erfahren, wenn die Bearbeitung aus dem Ruder läuft.

## Welche Anforderungen sind dafür zu erfüllen?

Im ersten Schritt muss ich digital sehen lernen. Das betrifft den einzelnen Sensor: Arbeitet er optisch, mit Bilderkennung per Kamera oder sogar mit Radar? Dann muss ich das Gesehene zu interpretieren lernen. Das heißt, wie kann ich die Daten der Sensoren zu einem Bild vereinigen, zu einem digitalen Schatten der Produktion? Auf verschiedenen Ebenen muss ich dafür Vernetzungen durchführen. In der einzelnen Werkzeugmaschine verbinde ich Sensorik mit Aktuatorik, auf Shopfloorebene führe ich die verschiedenen Systeme zusammen. Wie schnell ich damit bin, ist dann auch eine Frage der Telekommunikation. 5G wird da sicher vieles schneller machen.

## Welche Vorteile bringt eine Produktionssteuerung in Echtzeit?

Ganz pauschal gesagt hilft sie, die beiden größten Produktivitätshindernisse zu vermeiden: Warten und Suchen. Sie ermöglicht mir, die Regelkreise meiner Produktion zu beherrschen. Ich kenne die Zustände meiner Maschinen und weiß, wo sich welche Teile befinden. Das betrifft die gesamte Supplychain. Das erhöht meine Overall Equipment Effectiveness (OEE). Ich habe nur noch produktive Mitarbeiter und brauche keine Troubleshooter mehr. Wenn es kein Suchen und Warten mehr gibt, verbessert sich auch die Arbeitsatmosphäre. Es gibt für die Mitarbeiter keine Unterbrechungen mehr, jeder kann in seinem individuellen Tempo arbeiten. Außerdem ist Echtzeitfähigkeit wichtig, um in die Prediction zu kommen. Wenn ich aktuelle Istbilder mit Erfahrungsbildern vergleiche, kann ich Muster erkennen und Vorhersagen treffen. An die 90 Prozent aller Störungen könnte man so prognostizieren.

## Ist diese Art der Produktionssteuerung ein Zukunftsthema?

Wenn Sie wissen wollen, ob diese Steuerung schon flächendeckend eingeführt ist: nein. Fragen Sie, ob man das schon machen kann: auf jeden Fall! Alle nötigen Technologien sind da, sie müssen nur noch eingesetzt werden. Bei unserer Produktion des e.GO haben wir eine Echtzeitsteuerung im Verzögerungsbereich von ein bis zwei Minuten. Und das obwohl vielfach per Hand montiert wird. Es gibt überhaupt keinen Grund, eine solche Steuerung in jeder Art von Produktion nicht sofort einzuführen. Die Aussage, man warte auf 5G, mit 4G funktioniere das nicht, lasse ich nicht gelten.



Marco Maas ist Datenjournalist und Gründer und Geschäftsführer des Unternehmens Datenfreunde GmbH, einer Firma für innovative Audioprodukte, die seit 2013 auf dem Markt ist. Sie ist spezialisiert auf Audioanalysen und innovative Nachrichtendistribution. Ihr jüngstes Projekt ist „xMinutes“, eine Nachrichten-App, die kontextbasiert journalistische Inhalte ausspielt – die richtige Nachricht zur richtigen Zeit am richtigen Ort.  
[www.datenfreunde.de](http://www.datenfreunde.de)

## „Zwei zeitliche Treiber“

**Echtzeit in den Medien: Welche Möglichkeiten sich Journalismus und Werbung eröffnen, weiß Datenjournalist und Unternehmer Marco Maas.**

### Welche Möglichkeiten bieten sich für Echtzeitanwendungen im Bereich Medien?

Es gilt der Grundsatz: Je besser ich den Kunden kenne, desto besser kann ich ihn ansprechen. Dafür müssen Informationen aus dem Targeting im Internet mit Informationen aus Smart-Home-Anwendungen, Bewegungsmeldern etc. zusammengebracht werden.

### Welche Technologien sind dafür notwendig und inwieweit werden solchen Anwendungen schon heute eingesetzt?

Von den genannten Beispielen sind wir nur noch einen kleinen Schritt entfernt. Notwendig wäre es, an verschiedenen Punkten erhobene Daten zusammenzuführen. Die technischen Möglichkeiten sind da und müssen nur noch in dem Bereich eingesetzt werden, etwa KI-Anwendungen, die unstrukturierte Informationen automatisch strukturieren und daraus Schlüsse ziehen. Vieles wird auch heute schon gemacht, selbst im UKW-Bereich des Radios kann man etwa schon in den Verbreitungsgebieten, für die Regen vorhergesagt ist, andere Werbung als die für Grillwürstchen ausspielen.

### Was bedeutet das für den Journalismus, was für die Werbung?

News können kompatibel mit dem User und der konkreten Nutzungssituation ausgespielt werden. Ich weiß nicht nur, wo und wie der User lebt, sondern auch in welcher Situation er in einem Moment ist und welche News er bis zu diesem Zeitpunkt schon wahrgenommen hat. Damit gewinnen regionale oder sogar lokale News immer mehr an Bedeutung. Außerdem kann ich dem Nutzer News zu einem Thema aus-

spielen, für das er sich bereits interessiert hat, oder zu Verkehr und Wetter, bevor er das Haus verlässt. In der Werbung ist eine ähnlich spitze Ansprache möglich. Natürlich bekommt der, der auf Spotify immerzu Rammstein hört, nicht die Werbung für das Rihanna-Konzert. Waschmittelwerbung geht an alle, aber an die Familien mit einem neugeborenen Kind vielleicht mit einem Schwerpunkt auf Hautverträglichkeit. Bei noch spitzerer Konzentration bekäme dann ein Bartträger genau dann Werbung für Bartpflegeprodukte, wenn er morgens um 7.00 Uhr vor dem Spiegel steht.

### Was bedeutet dabei Echtzeit und um welche Reaktionszeiten handelt es sich?

Bei diesen Konstellationen gibt es im Grunde zwei zeitliche Treiber: zum einen den Takt, den Ereignisse vorgeben. Natürlich will jeder möglichst schnell die Breaking News bekommen, dass etwa Angela Merkel den CDU-Parteivorsitz niederlegt. Lokale und regionale Themen sind weniger zeitkritisch. Wenn ich von Ereignissen in meiner Nachbarschaft mit ein, zwei Stunden Verspätung erfahre, reicht das in der Regel vollkommen aus. Ausnahmen sind vielleicht Verkehrsnachrichten, die ich sehen möchte, bevor ich aus dem Haus gehe. Der andere zeitliche Treiber ergibt sich durch den Tagesablauf des Users. Will ich – egal ob mit News oder Werbung – minimale Zeitfenster erreichen, muss ich schnell sein. Im Idealfall weiß ich schon vor dem User selbst, dass ihn in fünf Minuten ein bestimmtes Thema interessieren wird. Das wäre dann eine negative Reaktionszeit.

# „Den Materialfluss verstetigen“

Echtzeit in der Logistik: Welche Vorteile sich vor allem in der Lagerlogistik realisieren lassen, erklärt Dr. Nico Piatkowski vom Lehrstuhl für künstliche Intelligenz der TU Dortmund.



An der TU Dortmund forscht Dr. Nico Piatkowski über maschinelles Lernen (ML) für ressourcenbeschränkte Systeme. KI und ML sollten nicht den Menschen an sich imitieren, so Piatkowski, aber dessen Ressourcenverbrauch. So hat Googles AlphaGo zwar einen internationalen Meister des Brettspiels Go besiegt, aber mit dem 50-fachen Energieaufwand seiner „Kollegen“, die als Generalisten ungleich mehr als nur eine Aufgabe von Computern lösen können.

[www.tu-dortmund.de](http://www.tu-dortmund.de)

## Was bedeutet Echtzeit in der Logistik?

Echtzeit ist ja grundsätzlich ein relativer Begriff. Rein technisch gesprochen bedeutet Echtzeit die Verzögerung, die ein System braucht, um eine Aktion innerhalb einer vorgegebenen Frist auszulösen. Das bewegt sich im Bereich von Nanosekunden. Im Anwendungsfall muss ich natürlich immer den Kontext und die jeweiligen Anforderungen betrachten. Ein autonomes Lieferfahrzeug oder eine Drohne muss wahrscheinlich 60- bis 100-mal pro Sekunde eine Entscheidung über Parameter wie Richtung und Geschwindigkeit treffen – und jede dieser Entscheidungen muss korrekt sein. Wenn ich global denke, etwa an ein Containerschiff, das auf den Weltmeeren unterwegs ist, habe ich Tage, um die Routen, auf denen die Güter nach Ankunft am Zielhafen weitertransportiert werden, zu optimieren.

## Sie haben sich in einem Pilotprojekt mit einem Kunden speziell mit Lagerlogistik befasst. Worum ging es dabei?

Mit einem international renommierten Logistikanbieter haben wir ein Lager optimiert. Die Aufgabe bestand darin, den Materialfluss vom Hochregallager zu den Mitarbeitern an den Packstationen zu verstetigen, um die Menschen dort kontinuierlich zu beschäftigen. Entscheidend dabei war, zu einer dynamischen Bestückung des Lagers zu kommen. Dynamisch heißt beispielhaft in der Minimalanforderung eines Lebensmittelgroßlagers, die jeweilige saisonale Ware wie zurzeit vielleicht Schokoosterhasen auf die am schnellsten zu erreichenden Positionen im Lager zu setzen. Es gibt aber auch viel subtilere Zusammenhänge, die ein Mensch möglicherweise so gar nicht erkennen kann. Deshalb haben wir darüber hinaus ein in Echtzeit lernendes System installiert, das Waren, die in variablen Zyklen zu bestimm-

ten Zeitpunkten stark nachgefragt werden, proaktiv entsprechend günstig im Lager positioniert.

## Wie werden lernende Lager gesteuert?

Man hätte das mit einem Zentralrechner machen können. Neben einem hohen, auf Dauer aber nicht mehr wirtschaftlichem Energiebedarf, hat so ein System aber den Nachteil, dass es nicht mit der Größe des Lagers skaliert – man bräuchte also für unterschiedlich große Lager unterschiedlich große Zentralrechner. Deshalb haben wir das Problem verteilt und jede Lagerbox mit einem Kleinstrechner ausgestattet. Diese Kleinstrechner müssen keine umfassende Gesamt-, sondern nur eine Teillösung berechnen. Diese kommunizieren sie dann nur an die Lagerboxen in ihrer direkten Umgebung. Wenn ich dann noch ausreichend Lichteinfall im Lager habe und die Rechner mit einer Solarlösung ausstatten, habe ich ein autonomes selbststeuerndes lernendes System.

## Gibt es dafür besondere Anforderungen an die Infrastruktur, etwa 5G?

5G wird eher beim Einsatz auf der Straße notwendig, wenn ich autonome Fahrzeuge oder Lieferdrohnen steuern will. Allerdings muss ich auch da Intelligenz in die jeweiligen Fahrzeuge integrieren. Einerseits kommt selbst ein Hochleistungsrechner beim Routing einer ganzen Drohnenflotte irgendwann an seine Kapazitätsgrenzen. Und andererseits kann natürlich auch eine 5G-Verbindung einmal unterbrochen werden. Deshalb brauche ich mindestens so viel Intelligenz etwa in einer Lieferdrohne, dass diese sich bei Problemen sicher aus dem Verkehr zieht.