

## RESILIENZ IN TELEKOMMUNIKATIONS-NETZEN

# Wenn der Browser nicht mehr lädt

Wer heute Straßenbahn fährt, sieht kaum einen jüngeren Menschen, der nicht über sein Mobilgerät Musik hört, spielt, liest oder kommuniziert. Doch diese Netze sind ebenfalls anfällig gegen Störungen und heute zugleich wichtiger denn je. Aber der Ausbau dezentraler und vermaschter Netzstrukturen kann hier widerstands- und leistungsfähige Netze schaffen. Was beachtet werden muss ...

von Achim Weitner-von Pein

**K**ommunikation ist unabdingbar. Viel und immer mehr davon läuft heute über elektrische Telekommunikationsnetze (TK-Netze). TK-Netze: Das sind das Telefon-Festnetz, das Internet (samt den Zugängen), die Breitbandkabelnetze und die Mobilfunknetze (also Handys und alles, was im Hintergrund dazugehört).

**Man kann nicht nicht kommunizieren.**

(Paul Watzlawick)

Aber auch die nicht-öffentlichen Netze: zur Regelung der Stromversorgung, zum Betrieb der Eisenbahnen, für die Sicherheitsdienste (Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienste, Katastrophenschutz) gehören dazu. Die öffentliche TK-Infrastruktur entwickelt sich dabei immer mehr in Richtung auf zwei Netze: das Internet und das Mobilfunknetz, die anderen verschwinden allmählich.

**Im Nu erreichbar,  
egal wie weit entfernt**

In den letzten Jahrzehnten haben wir uns in den Industrieländern regelrecht abhängig von der Verfügbarkeit dieser Systeme gemacht, sowohl in der Wirtschaft als auch im Privatleben. Die Welt ist zwar dadurch zusammengerückt, aber: Die Erreichbarkeit eines 5 km entfernten Menschen ist ähnlich leicht oder schwierig wie die eines Menschen auf der anderen Seite der Welt. Dazu kommt, dass die TK-Netze zunehmend von einer funktio-

nierenden Stromversorgung abhängig sind, und bei Stromausfall nur eine begrenzte Zeit weiterlaufen (ja, auch die Handynetze!).

## Historisch

Noch vor wenigen Jahrzehnten hatten Telefone eine eigene Stromversorgung und eigenes Netz, das für lokale Verbindungen auch lokale Komponenten (Vermittlungsstellen) bereitstellte. Viel „Daten-Kommunikation“ wurde über Papier abgewickelt.

Zurzeit werden die Telefonnetze umgebaut; sie werden dadurch billiger und flexibler nutzbar, aber auch anfälliger: Das Telefon wird heute nur noch mit dem Router verbunden, alles Weitere läuft über das Internet. Die ehemalige „Telefonleitung“ (die auch nur noch Internet-Daten überträgt) verbindet den Hausanschluss mit dem nächsten „grauen Kasten“ auf der Straße, von dort geht es per Glasfaser weiter – schnell, aber von der Stromversorgung abhängig.

Was passiert eigentlich, wenn das Internet großflächig ausfällt? Die Wirtschaft kann keine Daten mehr austauschen. Telefone funktionieren nicht mehr (die alten Netze werden ja gerade abgeschafft). EC-Kassensysteme und Bankautomaten verweigern sich, Kreditkarten-Zahlungen sind nicht mehr möglich. Die Wirtschaft gerät ins Stocken. Rettungsdienste sind höchstens über Handy erreichbar, falls das Netz noch funktioniert. Hier alles aufzuzählen würde den Rahmen sprengen.

Wie robust und ausfallsicher sind diese Systeme? Und wie bekommt man sie robuster (resilienter)?

## Dezentrale und vermaschte Strukturen

Solche Strukturen sind eine gute Lösung, um Ausfälle und Störungen zwar nicht zu vermeiden, aber begrenzt zu halten. Bei den Netzen muss unterschieden werden zwischen

- dem physikalischen Netz und
- der Netz-Steuerung.

### Das physikalische Netz

Dieses kann Daten transportieren, ist aber für Normalanwender noch nicht benutzbar. Es besteht aus den Leitungen (Kabeln, Glasfasern, Funkstrecken) und den Verbindungen zwischen den Leitungen (Vermittlungsstellen, Router, Funkmasten und so weiter).

Bei Störungen fließen die Daten auf einem anderen Weg, um die gestörten Komponenten herum, wenn es andere Wege gibt, und wenn die Lenkung der Daten funktioniert. Das Internet und die Mobilfunknetze sind bereits heute so aufgebaut, zumindest vom Prinzip her. Wird dieses Prinzip konsequent angewendet, dann ist es ausfallsicher. Es muss also möglichst eine Maschennetzstruktur beibehalten und ausgebaut werden, es darf nicht – aus Kostengründen – auf zu wenige (zentrale) Hochleistungs-Glasfaserleitungen gesetzt werden, bei deren Ausfall ganze Landstriche „lahmgelegt“ werden. Alles schon passiert: Bagger zerriss Glasfaserleitung und im Großraum Hannover-Braunschweig-Magdeburg funktionierte kein Handy eines bestimmten Netzbetreibers mehr – für mehrere Tage!

Sinnvoll im Sinne von Resilienz ist dabei auch, dass sich das Netz selbst und dezentral organisiert, dass also die Weiter- oder Umleitung von Daten ohne zentrale Komponenten funktioniert.

Ein Problem bei größeren Ausfällen ist auch die Überlastung: Ein Großausfall kann mit einer kleineren oder größeren Katastrophe einhergehen. In diesem Fall wird

versucht, viel zu kommunizieren, etwa um andere Menschen oder Rettungsdienste zu erreichen – mehr als sonst. Hier kann es sinnvoll sein, dass das Netz von sich aus bei Überlastung „unwichtige“ Daten nicht oder nur nachrangig transportiert. Ein Beispiel dafür ist die Video-Übertragung (IP-Fernsehen, youtube und Ähnliches): Videos brauchen viel Bandbreite und „verstopfen“ die Netze.

### Die Netz- und Daten-Steuerung

Diese – ich nenne es hier mal so – sorgt dafür, dass die Netze für Normal-Anwender benutzbar sind. Und hier sehe ich ein großes Problem: Es scheint so zu sein, dass viele dieser Komponenten – ebenfalls aus Kostengründen – zentral gehalten werden. Diese können sogar in einem weit entfernten Land stehen.

Beispiele dafür sind

- DNS-Server im Internet (die Web-Adressen wie „www.umweltzentrum-braunschweig.de“ in IP-Adressen wie „78.46.0.150“ wandeln)
  - Server für IP-Telefonie, über die Anrufe auf- und abgebaut sowie abgerechnet werden
  - Server der „Cloud“, in denen Daten gespeichert werden
  - Server für Mobilfunk (die „wissen“, wo sich welches Handy befindet, und ob damit telefoniert werden darf, und über die Verbindungen aufgebaut werden)
  - Rechenzentren der Banken (ohne die kein Geldautomat funktioniert)
  - Rechenzentren der Eisenbahnen (die beispielsweise Zugverkehr und Fahrkartenverkauf steuern)
- und vieles anderes mehr.

Die benötigten Server und Rechenzentren sind zwar in sich ausfallgeschützt (Notstromversorgung, Redundanzen), können aber durch Pannen beispielsweise bei Softwareänderungen ausfallen, oder sind (bei Netz-

Störung) schlichtweg nicht mehr erreichbar. Erfahrungen in den letzten 20 Jahren haben dies gezeigt: So funktionierten vor wenigen Jahren Zehntausende von IP-Telefonanschlüssen wochenlang nicht mehr, weil es eine Groß-Panne in einem Rechenzentrum gegeben hatte.

Noch erheblich gravierender sind Zerstörungen durch militärische oder terroristische Angriffe, durch einen Flugzeugabsturz, durch Cyber-Angriffe (Einschleusen von Schad-Software).

Um die Auswirkungen solcher Großstörungen begrenzt zu halten, müssen auch diese wichtigen Komponenten dezentral aufgebaut werden. Und auch selbstlernend und selbstorganisierend konstruiert werden, sonst braucht man für die Koordination wieder zentrale Komponenten.

Ein wichtiger Punkt ist auch die Stromversorgung: All diese Kommunikationsnetze funktionieren elektrisch, die meisten Komponenten hängen am öffentlichen Stromnetz, bei Stromausfall fallen sie aus, und damit Internet, Telefon, Handys. Manche Komponenten haben Akkus, um kurze Stromausfälle zu überdauern (zum Beispiel Handymasten), viele haben keine, und lange halten die Akkus auch nicht. Hier ist eine resiliente und dezentrale Stromversorgung unabdingbar. Umgekehrt funktioniert ein modernes dezentrales Stromnetz nicht ohne Kommunikationsnetz – die beiden Netze sind aufeinander angewiesen.

### Einschätzung des Autors

Vom Prinzip her sind moderne Kommunikationsnetze dezentral und resilient entworfen worden. Es gibt aber zu viele Komponenten, die diesem Prinzip nicht entsprechen. Hier muss noch viel geforscht, entwickelt und gebaut werden. ◀

