

*Wir befinden uns in einem kleinen Dorf auf der Spitze eines Berges und es ist Winter. In der Nacht ist es sehr kalt und die Temperatur sinkt auf unter  $0^{\circ}\text{C}$ . Bei diesen Bedingungen gefriert die Flüssigkeit der Luft und alles ist von Eis bedeckt, so auch die Hochspannungskabel. Außerdem schneit es manchmal und der Schnee bleibt auf den Stromleitungen liegen. Wenn der Schnee durch die Sonne schmilzt, wird er in der Nacht zu Eis. Das Eis wird Tag für Tag mehr und das Gewicht des Eises dehnt die Kabel, sodass diese brechen können. Wenn das passiert, haben die Bewohner des Dorfes keine Elektrizität in deren Häusern bis der Schaden repariert ist. Hierfür braucht es eine Lösung.*



**Abb. 1:** Mit Eis bedeckte Stromkabel

*Die erste Lösung, die vorgeschlagen wurde, war den Durchmesser der Kupferkabel zu erhöhen, aber es ist bekannt, dass Kupfer sehr teuer ist und es müsste das gesamte Stromnetz ausgetauscht werden. Weiters wurde vorgeschlagen, alle Kabel unterirdisch zu verlegen, um sie zu schützen (diese Investition könnte jedoch von dem kleinen Dorf nicht bezahlt werden), sowie die Anzahl der Masten zu verdoppeln.*

*Einer der Techniker schlug vor, die Energie zu nutzen, die durch den Joule-Effekt von den Kabeln generiert wird; hierfür müsste allerdings die Stromstärke erhöht werden, was zu einem Anstieg des Energieverbrauchs führen würde.*

*Eine nicht-standardmäßige Lösung ist gefragt. Folgen wir dem Problemlösungsprozess nach TRIZ.*

Wenn nicht klar ist, wie ein Problem gelöst werden soll bzw. welches Problem überhaupt vorliegt, ist der System Operator – das Multidimensionale Denken - (Absatz 1.3.3.5) das geeignete TRIZ-Instrument. Dieser ermöglicht die Auswahl des richtigen Problems und die Analyse der Ausgangssituation aus zeitlicher Sicht und in einer Ursache-Wirkungs-Kette. Wir starten mit der Definition des Referenzfensters ("Gegenwarts-System"). Es ist nicht von Bedeutung, welche Detailebene oder welche zeitliche Phase als Startfenster gewählt wird; sehr wichtig ist es aber, eine durchgängige Analyse durchzuführen, wenn nach Problemen in den anderen Fenstern gesucht wird.

Das Ausgangsproblem ist das viele Eis auf den Stromkabeln, das zum Brechen der Kabel führt; diesen Vorgang wählen wir als zentrales Fenster unseres System Operators. Die Elemente sind lediglich die Kabel, das Eis und der Strom. Auch folgende Frage müssen wir beachten: Wie können die Elemente des “Gegenwarts-Systems” der negativen Aktion (Eis auf den Kabeln) entgegenwirken? Nun können wir das Schema vervollständigen, wie Abb. 2 zeigt.

	<p><b>Elemente:</b> Oberleitung, Masten, Luft, Umwelt,...</p> <p><b>Frage:</b> Wie müssen Oberleitung, Masten, Luft,... gestaltet sein, damit das Eis die Kabel nicht bricht?</p>	
	<p><b>Elemente:</b> Kabel, Strom, Eis</p> <p><b>Frage:</b> Wie müssen Kabel, Strom, ... gestaltet sein, damit das Eis nicht die Kabel bricht?</p>	
	<p><b>Elemente:</b> Kabelmaterial, Kabelform, Elektronen, Wasser</p> <p><b>Frage:</b> Wie müssen Kabelmaterialien, Kabelform, ... gestaltet sein, damit das Eis die Kabel nicht bricht?</p>	

*Abb. 2: Suche nach Problemen: Gegenwarts-Spalte des System Operators*

Alle Fenster der selben Spalte sind durch einen gleichen “zeitlichen Rahmen” gekennzeichnet, während die Fenster einer Reihe derselben System-Ebene angehören; jede Spalte ist durch dasselbe Problem/Frage gekennzeichnet, die Elemente, d.h. die Ressourcen, um es zu lösen, ändern sich jedoch.

Die linke Spalte der Tabelle (Vergangenheit) behandelt Möglichkeiten, das Problem zu vermeiden: zu diesem Zeitpunkt hat sich noch keine große Menge Eis auf den Kabeln gebildet, sondern das Eis hat noch die Form von Wasser, Schnee oder Luftfeuchte, die Eisschicht ist noch sehr dünn.

Die rechte Spalte der Tabelle (Zukunft) bedeutet, dass das Problem in der Gegenwart nicht gelöst wurde, und ein kompensierender Zugang in der Zukunft gesucht werden sollte. Auf der rechten Seite wird daher angenommen, dass das Eis die Kabel bereits gebrochen hat.

Folglich werden mit den unterschiedlichen Fenstern des System Operators unterschiedliche Fragestellungen/spezifische Probleme assoziiert. Das vollständige Schema wird in Abb. 3 dargestellt. In der Regel kann der System Operator auch aus mehr als 9 Fenstern bestehen, weil jedes Subsystem in weitere Sub-Subsysteme unterteilt werden kann; jeder Zeitrahmen hat eine Vergangenheit, eine Zukunft etc. Es wird vorgeschlagen, die Analyse zu beenden, wenn die Fragestellungen für den Problemlöser zu kompliziert werden (z.B. Wie kann ein Wetterschwung vermieden werden?).

<b>Elemente:</b> Oberleitung, Masten, Luft, Umwelt,... <b>Frage:</b> Wie müssen Oberleitung, Masten, Luft,... gestaltet sein, damit sich kein Eis auf den Kabeln bildet?	<b>Elemente:</b> Oberleitung, Masten, Luft, Umwelt,... <b>Frage:</b> Wie müssen Oberleitung, Masten, Luft,... gestaltet sein, damit das Eis die Kabel nicht bricht?	<b>Elemente:</b> Oberleitung, Masten, Luft, Umwelt,... <b>Frage:</b> Wie müssen Oberleitung, Masten, Luft,... gestaltet sein, damit auch bei gebrochen Kabeln Strom fließen kann?
<b>Elemente:</b> Kabel, Strom, Eis <b>Frage:</b> Wie müssen Kabel, Strom, ... gestaltet sein, damit sich kein Eis auf den Kabeln bildet?	<b>Elemente:</b> Kabel, Strom, Eis <b>Frage:</b> Wie müssen Kabel, Strom, ... gestaltet sein, damit das Eis nicht die Kabel bricht?	<b>Elemente:</b> Kabel, Strom, Eis <b>Frage:</b> Wie müssen Kabel, Strom, ... gestaltet sein, damit auch bei gebrochenen Kabeln Strom fließen kann?
<b>Elemente:</b> Kabelmaterial, Kabelform, Elektronen, Wasser <b>Frage:</b> Wie müssen Kabelmaterial, Kabelform, ... gestaltet sein, damit sich kein Eis auf den Kabeln bildet?	<b>Elemente:</b> Kabelmaterial, Kabelform, Elektronen, Wasser <b>Frage:</b> Wie müssen Kabelmaterial, Kabelform, ... gestaltet sein, damit das Eis die Kabel nicht bricht?	<b>Elemente:</b> Kabelmaterial, Kabelform, Elektronen, Wasser <b>Frage:</b> Wie müssen Kabelmaterial, Kabelform, ... gestaltet sein, damit auch bei gebrochenen Kabeln Strom fließen kann?

Abb. 3: Auf der Suche nach Problemen: der vollständige System Operator

Wir müssen nun aus neun (oder sogar mehr) verschiedenen spezifischen Problemen wählen, die alle ein gemeinsames Ziel haben: den Einwohnern des kleinen Bergdorfs eine ordnungsgemäße Stromversorgung zu ermöglichen.

Wir beginnen ausgehend von dem Fenster in der Mitte.

Um besser zu verstehen, wie das System funktioniert und wie das Problem in Erscheinung tritt ist es hilfreich, ein funktionales Modell des Systems abzubilden, deren Gegebenheiten mit denen des System Operators korrespondieren.

In diesem Fall ist das Modell sehr einfach, weil es nur wenige Elemente gibt. Wir starten mit der Darstellung der nützlichen Funktion des Systems: die Kabel leiten den Strom. Im nächsten Schritt fügen wir andere Elemente hinzu, die an der nützlichen Funktion teilhaben oder eine Konsequenz ihrer sind, sowie eventuell auch jene Elemente, die die negative Funktion verursachen oder an ihr teilhaben, z.B. das Eis bricht die Kabel. Wenn alle Elemente aufgelistet sind, müssen die Aktionen berücksichtigt werden die diese untereinander zur Folge haben. Das Ergebnis ist in Abb. 4 dargestellt.

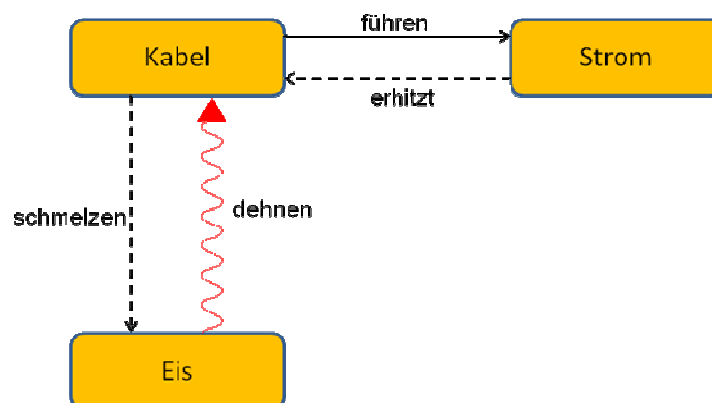


Abb. 4: Funktionales Modell, das die Situation des Gegenwarts-Systems des System Operators beschreibt.

Um zu verhindern, dass das Eis die Stromkabel bricht, können wir die vom Strom erzeugte Hitze nutzen, die aber wiederum nicht ausreicht, um das Eis zu schmelzen. Die Stromstärke könnte erhöht werden, damit sich der Joule Effekt verstärkt und sich die Temperatur der Kabel erhöht. Abb. 5 zeigt nun ein funktionales Modell unter der Annahme, dass Strom mit hoher Spannung durch die Leitungen fließt.

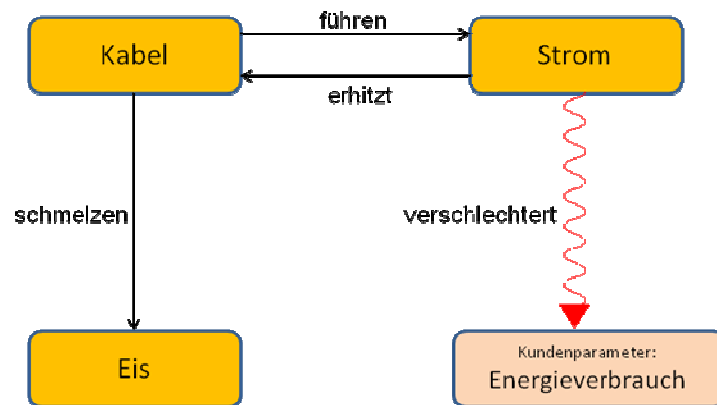


Abb. 5: Funktionales Modell des Systems bei starker Stromspannung

Wie Abb. 5 zeigt, hat der starke Strom keine direkte negative Wirkung auf ein Element, sondern führt lediglich zur Verschlechterung eines Bewertungsparameters. Ein Widerspruch liegt vor: Wenn die Stromstärke hoch ist, ist das Problem mit dem Eis gelöst, aber eine negative Auswirkung auf den Energieverbrauch liegt vor; wenn die Stromstärke allerdings gering ist, reicht die durch den Joule Effekt erzeugte Energie nicht aus, um das Eis zu schmelzen. Das Modell dieses Widerspruchs wird in Abb. 6 dargestellt.

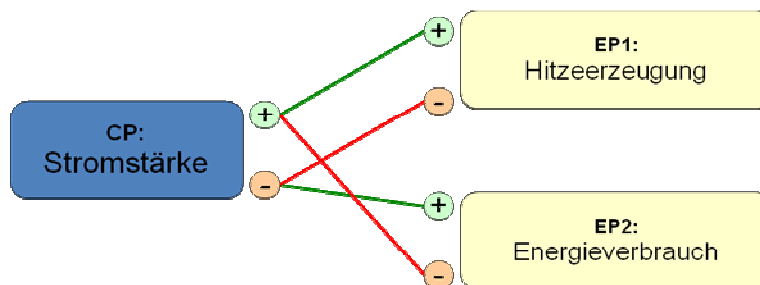


Abb. 6: Das OTSM Widerspruchsmodell (Absatz 5.1.2)

Folgt man den von ARIZ (Kapitel 3) vorgeschlagenen Schritten, müssen nun Handlungsreich (operativer Ort) und Handlungszeit (operative Zeit) festgelegt werden.

Der operative Ort umfasst die Summe der äußeren Oberfläche der Kabel, der Oberfläche des Eises in Kontakt zu den Kabeln und der Bereich der Kabel, durch den Strom fließt. Die operative Zeit besteht aus den Intervallen, wenn das Eis die Kabel dehnt und sich das Eis verformt und der Zeit der Stromübertragung.

Nun wenden wir, wie in Absatz 5.3 des TETRIS-Handbuchs beschrieben, die Separationsprinzipien an, um den physischen Widerspruch zu lösen. Das erste Prinzip ist die Separation in der Zeit: Wir können dieses Prinzip anwenden, wenn die folgende Frage mit "Nein" beantwortet wird: Stimmt es, dass wir während des gesamten Handlungszeitraums eine hohe Stromspannung benötigen und während der gesamten Handlungszeit eine normale Stromspannung benötigen? Die Antwort lautet natürlich „Nein!“.

Tatsächlich benötigen wir nämlich nur dann eine erhöhte Stromspannung, wenn das Eis die Kabel dehnt. Während der restlichen Zeit benötigen wir normalen Strom. Welche Ressourcen des Super-Systems (oder direkt verfügbare) können die Stromstärke je nach mechanischer Beanspruchung der Kabel ändern? Daraus ergibt sich ein neues Problem: Wie kann die mechanische Beanspruchung bzw. eine Überladung der Leitungen gemessen werden? Mögliche Lösungen können durch Verwendung der Class 4 der Standard Lösung gefunden werden (Kapitel 4).

Das zweite Prinzip zur Bewältigung von physischen Widersprüchen ist die Separation im Raum. Ähnlich wie schon vorhin ist das Prinzip für die spezielle Situation dann relevant, wenn die folgende Frage verneint wird: Stimmt es, dass wir im gesamten Handlungsbereich eine hohe Stromspannung benötigen und im gesamten Handlungsbereich eine normale Stromspannung benötigen?

Tatsächlich wird lediglich an der Oberfläche der Kabel eine hohe Stromstärke benötigt, damit diese geheizt wird und das Eis schmilzt. Für den restlichen Kabelbereich reicht normaler Strom aus, damit das Dorf versorgt werden kann und um keine Energie zu verschwenden.

Welche Ressourcen innerhalb des Systems, oder leicht zugänglich aus dem Supersystem, können für eine unterschiedlich starke Stromintensität an der Oberfläche und im Inneren der Kabel sorgen?

Wenn das persönliche Wissen bzw. das Wissen des Teams nicht ausreicht, um diese Art von Frage zu beantworten, kann ein weiteres wissensbasiertes TRIZ-Instrument angewandt werden, die Effekt-Datenbank (Absatz 5.6.4). In ihr ist der *Haut- oder Oberflächen-Effekt* zu finden, der besagt, dass bei wechselndem Strom mit hoher Frequenz die Spannung nahe der Kabeloberfläche größer ist als im Inneren der Kabel.

Durch die Verwendung eines Stroms mit hoher Frequenz und geringer Stromstärke auf der normalen 50-60 Hz Energieversorgung können wir die Kabel nur dort heizen, wo es wirklich notwendig ist und es wird nicht unnötig Energie verschwendet.

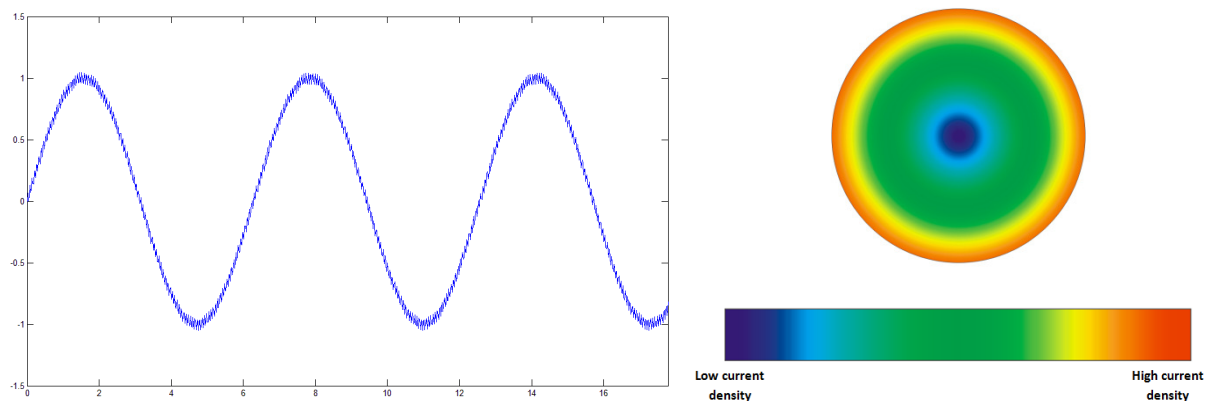


Abb. 7: links – Die Sinuskurve des Wechselstroms mit der Überlagerung des zusätzlichen Hochfrequenzstroms; rechts – die Verteilung des Stroms auf das Kabel (Querschnitt).